



Fábio de Campos Xavier

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Contratação Bilateral vs Mercado em Bolsa: Negociação através de Gestão Dinâmica de Preço e Volume de Energia Eólica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor, Fernando Jorge Ferreira Lopes,
Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Co-orientadora: Professora Doutora, Anabela Monteiro Gonçalves
Pronto, Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Rui Alexandre Nunes Neves da Silva
Arguente: João Francisco Alves Martins
Vogal: Fernando Jorge Ferreira Lopes



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Janeiro, 2019

Contratação Bilateral vs Mercado em Bolsa: Negociação através de Gestão Dinâmica de Preço e Volume de Energia Eólica

Copyright © Fábio de Campos Xavier, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos Meus Pais e Irmão
José, Maria e João Xavier

AGRADECIMENTOS

Gostaria de prestar um agradecimento especial a todas as pessoas e instituições que contribuíram significativamente com apoios e incentivos incondicionais para realização desta dissertação de mestrado.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor e Orientador, Doutor Fernando Lopes, pela sua disponibilidade, opiniões e apreciações críticas através de sessões de esclarecimento em todas as reuniões realizadas durante todo o processo de desenvolvimento desta investigação.

À Professora Anabela Pronto, pela sua disponibilidade, apoio e conhecimentos partilhados durante os anos em que foi minha professora e nesta fase final pela sua orientação e apoio pedagógico durante realização deste tema de dissertação.

Ao Eng^o Hugo Algarvio, pela sua total disponibilidade, apoio e conhecimentos partilhados ao longo de todo este período de investigação em mercados de energia.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, agradeço pelos meios disponibilizados para o desenvolvimento do presente trabalho.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por todas as condições disponibilizadas ao longo do meu percurso académico, desde instalações ao corpo docente, monitores e funcionários, não esquecendo todas as amizades construídas nesta instituição.

Agradeço às pessoas sem as quais nada disto seria possível. Um agradecimento do tamanho do mundo aos meus exemplos de vida, os meus pais, José Xavier e Maria João Xavier, por todo o seu amor, incentivo e apoio incondicional. Ao meu melhor Amigo e Irmão João Xavier, Obrigado por seres quem És. Por fim, mas não menos importante, à minha namorada Liliana Ferreira, por me aturar durante todo o desenvolvimento da presente dissertação.

A todos, um Bem Haja.

RESUMO

O aproveitamento de fontes renováveis para a geração de energia antevê, nos campos sociais, económicos e ambientais um futuro promissor. Este longo processo teve origem a partir de três grandes factores. Primeiro, a consciencialização para a liberalização e consequente reestruturação do sector de energia eléctrica, segundo, a inovação tecnológica que tem ditado a redução de custos dos materiais para a geração de energia e por último a formação de um mercado altamente dinâmico e competitivo nos sectores de produção e de comercialização de energia eléctrica.

Deste modo, considerando como prioridade o bem-estar da sociedade, foram criadas após a liberalização do mercado, várias alternativas à negociação desta *commodity* entre agentes contratantes, seja com recurso a instrumentos de índole financeira do mercado a prazo ou directamente através da celebração de contratos bilaterais, em mercados de balcão, mais conhecidos por *Over-the-Counter* (OTC), face ao modelo de negociação contratual já existente no mercado diário do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL).

No contexto da presente dissertação, atendendo à principal característica de produção de energia a partir de fontes renováveis, neste caso em particular, eólica, as entidades produtoras (*GenCos*) têm procurado obter acordos através de contratos bilaterais, uma vez garantindo que a sua produção é transaccionada e que existe a possibilidade de evitar a exposição ao risco financeiro inerente, dada a flutuação de preços existente no mercado diário.

Assim, o principal objectivo desta dissertação passa por revelar e desenvolver as potencialidades de um modelo que minimize o risco associado ao produtor eólico, mediante a negociação bilateral com gestão dinâmica de preços e volumes, recorrendo à tecnologia de sistemas multi-agente, utilizando o simulador MATREM. Por forma a comprovar as vantagens deste novo modelo contratual, foi desenvolvido um caso de estudo com três cenários distintos, recorrendo a um produtor eólico e uma empresa de referência no sector (consumidor).

Palavras-chave: Mercados de Energia Eléctrica, Sistemas Multi-Agente, Energia Eólica, *Feed-in Tariff*, Penalizações, Previsão

ABSTRACT

The use of renewable sources for the generation of energy foresees, on a social the social, economic and environmental field a very promising future. This long process originated due to three major factors. Firstly, the awareness of liberalization and the consequent restructuring of the energy sector, secondly, the technological innovation that has dictated a strong cost reduction with the use raw materials for energy generation and finally the formation of a highly dynamic and competitive market in the domains of production and commercialization of electricity.

In light of such arguments, considering social welfare as a key priority, after the liberalization of the energy market, several alternatives to the negotiation of this commodity has been achieved between contracting parties, either by means of financial instruments or directly through the use of bilateral contracts celebrated in Over-the-Counter (OTC) markets, in opposition with the already existing contractual negotiation model traditionally used on day ahead markets. In this case, the Iberian Electricity Market [MIBEL](#).

In the context of this dissertation, given the main characteristic of energy from renewable sources, in this particular case, wind power producers (*GenCos*) have been seeking agreements through bilateral contracts, ensuring that their production is traded and that there is a possibility of avoiding an inherent financial risk, given the daily market price fluctuation.

Thus, the main objective of this dissertation is, to reveal and develop a model which could potentially eliminate the risk for negotiating parties, in this case, wind power producers, through the usage of bilateral negotiation with dynamic management of energy prices and volumes via multi-agent systems, using the [MAN-REM](#) simulator. In order to emphasize the advantages of this new contractual model, a case study was developed with three different scenarios, using wind producer and a reference consumer in the energy sector.

Keywords: Electricity Markets, Multi agent systems, Wind Power Production, Feed-in-Tariff, Penalties, Prevision, Bilateral Negotiation with Price and Volume dynamic management

ÍNDICE

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Siglas	xix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivações	2
1.2 Principais Objectivos	4
1.3 Contribuições	5
1.4 Estrutura do documento	6
2 Mercados de Energia Eléctrica	7
2.1 A Liberalização do Sector Eléctrico	8
2.2 Modelos de Comercialização de Energia Eléctrica	12
2.2.1 Modelo em Bolsa	13
2.2.2 Modelo de Contratos Bilaterais	14
2.2.3 Modelo Misto	18
2.2.4 O Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL)	18
2.2.5 A Estrutura do MIBEL	21
2.2.6 A importância da Contratação Bilateral no MIBEL	24
3 Sistemas Multi-Agente nos Mercados de Energia Eléctrica	27
3.1 Sistemas Multi-Agente (SMA)	28
3.2 Conceitos e Características: SMA e de Agentes Autónomos	28
3.2.1 Sistemas Multi-Agente	28
3.2.2 Agentes Autónomos	29
3.3 Ambientes Multi-Agente	31
3.4 Simuladores Multi-Agente de Mercados de Energia Eléctrica	33
4 Fontes de Energia Renovável nos Mercados de Energia Eléctrica	37
4.1 Fontes de Energia Renovável no Século XXI	38
4.1.1 Evolução das Fontes de Energias Renováveis no Mundo	39
4.2 Evolução das Fontes de Energias Renováveis em Portugal	41

4.3	Energia Eólica nos Mercados de Energia Eléctrica	42
4.3.1	A Previsão de Energia Eólica	43
4.3.2	Impacto da Energia Eólica no Preço de Mercado	44
5	Negociação Bilateral de Energia Eólica: Gestão Dinâmica de Preços e Volumes	49
5.1	Contratos com Gestão Dinâmica de Preços e Volumes	50
5.1.1	Considerações Gerais	50
5.2	Negociação de Contrato Bilaterais	54
5.2.1	Processo de Negociação	54
5.2.2	Modelo de Negociação Bilateral	56
5.2.3	Estratégias de Negociação Bilateral	58
5.3	Negociação através de Gestão Dinâmica de Preços e Volumes (Novo Modelo)	59
5.3.1	Definição dos Volumes de Energia	60
5.3.2	Definição de Preços Limite	63
6	Negociação Bilateral de Energia Eólica com Gestão Dinâmica de Preços e Volumes: Caso Prático	65
6.1	Gestão Dinâmica de Preços e Volumes	66
6.2	Caracterização de Agentes	66
6.2.1	Agente Produtor de Energia Eólica (<i>GenCos</i>)	67
6.2.2	Agente Retalhista de Energia Eólica (<i>Retailer</i>)	68
6.3	Caracterização do Caso Prático	69
6.3.1	Cenário I: Mercado em Bolsa	69
6.3.2	Cenário II: Negociação Bilateral de Volume Variável com tarifa Única	70
6.3.3	Cenário III: Negociação Bilateral com Dinâmica de Preços e Volumes	70
6.4	Análise de Resultados	72
7	Conclusões e Trabalho Futuro	75
7.1	Síntese de Resultados	75
7.2	Trabalho Futuro	76
	Bibliografia	79

LISTA DE FIGURAS

2.1	Mercado eléctrico baseado numa estrutura verticalmente integrada[15]. . . .	10
2.2	Calendarização da abertura do mercado português de energia eléctrica até à total liberalização.	11
2.3	Fases de abertura do mercado de energia eléctrica por tipo de consumidor e extinção de tarifas [16]	12
2.4	Diagrama dos instrumentos derivados financeiros	16
2.5	Modelo misto de exploração do sector eléctrico [15].	18
2.6	Estrutura corporativa do MIBEL (adaptada OMIE)	22
2.7	Processo de formação de preço em mercado diário [16].	23
2.8	Comparativo de volumes de energia negociados em Portugal e Espanha nos meses de Novembro de 2009 e de Outubro de 2015.	25
2.9	Quantidade de energia negociada e contratos elaborados no ano de 2015 [26].	26
3.1	Classes de Agentes na perspectiva de Nwana [31].	31
3.2	Interface Gráfica do MAN-REM	35
4.1	Capacidade total instalada no mundo de produção renovável (retirado IRENA).	40
4.2	TOP 5 Mundial de total de adições à potência instalada renovável (adaptada IRENA)	40
4.3	Total de adições à potência instalada renovável em Portugal (adaptada IRENA).	41
4.4	Preço de energia negociado em bolsa em função da fração de produção de energia eólica relativamente à produção total no mix nos períodos de ponta, cheias e vazio por hora	45
4.5	Variação do preço em função da variação da produção de energia eólica. . . .	46
4.6	Variação do preço em função da variação de percentagem de produção de energia eólica relativamente à produção total do <i>mix</i>	47
5.1	Exemplo de uma curva monótona de potência de um determinado produtor [4].	51
5.2	Diagrama de blocos da arquitectura interna do código que forma os intervalos.	61
5.3	Exemplo de curva monótna para intervalos igual a 3.	62

6.1	Comparação entre valores de mercado e o valor do acordo bilateral (vista do produtor).	73
6.2	Comparação entre valores de mercado e o valor do acordo bilateral em módulo da variação (vista do retalhista).	73

LISTA DE TABELAS

2.1	Datas de eventos importantes para a criação do MIBEL.	20
2.2	Alinhamento dos horários das seis sessões do Mercado Intradiário (adaptada OMIE)	24
5.1	Definição de horas para Intervalos N=3	64
5.2	Definição de horas para Intervalos N=4	64
5.3	Definição de horas para Intervalos N=5	64
6.1	Preços limite mínimo para o produtor (N=3).	67
6.2	Preços limite mínimo para o produtor (N=4).	67
6.3	Preços limite mínimo para o produtor (N=5).	67
6.4	Volume de intervalos para N=3	68
6.5	Volume de intervalos para N=4	68
6.6	Volume de intervalos para N=5	68
6.7	Preços limite máximo para o retalhista (N=3).	68
6.8	Preços limite máximo para o retalhsita (N=4).	69
6.9	Preços limite máximo para o retalhista (N=5).	69
6.10	Preços licitados no mercado em bolsa por produtor e retalhista.	69
6.11	Preço de acordo na negociação bilateral de volume variável com tarifa única.	70
6.12	Preços acordados para N=3.	71
6.13	Preços acordados para N=4.	71
6.14	Preços acordados para N=5.	71
6.15	Comparativo dos preços acordados vs os preços praticados em bolsa	72

SIGLAS

BTN Baixa Tensão Normal.

CE Comissão Europeia.

CfD Contract for Difference.

EDP Energias de Portugal.

EMCAS *Electric Market Complex Adaptive System.*

ERSE Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

EU28 União Europeia (28 Países).

FIPA *Foundation for Intelligent Physical Agents.*

GECAD Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão.

GEE Gases do Efeito Estufa.

ICL *Interagent Communication Language.*

IRENA *International Renewable Energy Agency.*

JADE *Java Agent DEvelopment Framework.*

LNEG Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

MAN-REM *Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets.*

MASCEM *MultiAgent System that Simulates Competitive Electricity Markets.*

MATREM *Multi-Agent Negotiation.*

ME Mercados de Electricidade.

MIBEL Mercado Ibérico de Electricidade.

ML Mercado Livre.

MR Mercado Regulado.

OAA *Open Agent Architecture.*

OM Operador de Mercado.

OMI Operador do Mercado Ibérico.

OMIE Operador del Mercado Ibérico de Energía - Pólo Espanhol, S.A..

OMIP Operador de Mercado Ibérico de Energia - Pólo Português, S.A..

OS Operador de Sistema.

OSI Operador de Sistema Independente.

OTC Over-The-Counter.

OTF Organized Trading Facilities.

PRE Produção em Regime Especial.

PURPA *Public Utility Regulatory Policy Act.*

REN Redes Energéticas Nacionais S.A.

REPAST *REcursive Porous Agent Simlutation Toolkit.*

SEI Sistema Eléctrico Independente.

SEN Sistema Eléctrico Nacional.

SEP Sistema Eléctrico de Serviço Público.

SMA Sistema Multi-Agente.

SRI *Stanford Research Institute.*

INTRODUÇÃO

O presente capítulo descreve o contexto em que foi realizado o trabalho, bem como as motivações, os principais objectivos e as contribuições científicas. Por último, apresenta-se a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento e Motivações

Nas últimas décadas existiram diversas melhorias no que diz respeito ao sector eléctrico, sendo que um dos factores primordiais para este facto foram as descobertas que decorreram entre os séculos XVIII e XIX, revolucionando por completo a humanidade, traduzindo-se numa mais valia para o nosso desenvolvimento. A base desta grande evolução foi iniciada pela observação e interpretação de todas as práticas convencionais e menos eficientes, reestruturando-as de forma visível e permitindo que o centro económico energético, com bases sólidas, as melhorasse de forma progressiva.

Um dos temas clássicos de debate na comunidade mundial é o desenvolvimento económico, tendo como principais objectivos o aperfeiçoamento ou optimização de diversos sectores económicos, entre eles o sector energético. Atendendo ao peso que o mercado de energia assume na economia mundial, ao longo do seu processo de evolução, deparou-se com constantes reestruturações a diferentes níveis, tornando-se assim uma questão extremamente delicada e complexa.

Durante grande parte do século XX, o sector energético foi um sector monopolista (com entidades verticalmente integradas), altamente regulado e estruturado em quatro áreas específicas: produção, transporte, distribuição e comercialização. No entanto, devido a acontecimentos históricos na década de 70 (crises de petróleo de 1973 e 1979), e à crescente sensibilização sobre impactos ambientais.

Dada a constante evolução da rede eléctrica e os acontecimentos acima referidos, o sector eléctrico demonstrou vulnerabilidades e necessidades, tornando-se insuficiente perante os novos desafios que emergiam constantemente a cada ano para o bem-estar da sociedade. No final da década de 70, novas opções de energia ganharam maior relevo, que consequentemente serviram como fundamento de debate a nível mundial para a desregulação ou liberalização do sector energético em 1978.

Tendo em consideração a visão política do Reino Unido na área de mercados de energia, pioneiros do desenvolvimento de Mercados de Electricidade (ME) na Europa, os Governos de Portugal e Espanha procuraram criar o Mercado Ibérico de Electricidade, igualmente conhecido como (MIBEL), de forma a irem ao encontro dos objectivos e directivas definidos pela Comissão Europeia (CE) na década de 90. Consequentemente, o novo modelo de mercado partilhado pelos dois países assinalou a separação das funções de geração e comercialização de energia eléctrica, das funções de transporte e distribuição.

Com a liberalização do sector, a ideia de reestruturação ganha maior destaque, nos domínios específicos de distribuição e produção, adoptando de certa forma compromissos

estratégicos e políticos a curto e longo prazo [1]. No decorrer deste processo de desregulação, diga-se longo, contribuiu para um aumento significativo de concorrentes nas áreas de geração e de comercialização e consequentemente um natural aumento da oferta e com isto passou a existir uma maior competitividade, eficiência e transparência nos processos de compra e venda de energia em mercado bolsista.

Perante a variedade da oferta por parte dos novos concorrentes, estabeleceu-se que o consumidor final tem a possibilidade de escolher livremente o seu próprio comercializador de energia, independentemente da natureza do mesmo (residencial ou industrial), garantindo de certa forma um serviço personalizado, eficiente e melhorado, o que não ocorria anteriormente. Para além do serviço personalizado perante a entidade escolhida, com a liberalização, o consumidor final pode ser o seu próprio fornecedor de energia, através do conceito de auto-produção.

Quanto à exploração das áreas específicas do sector energético, as actividades de transporte e distribuição do sector em Portugal continuaram a ser asseguradas por entidades fixas (monopolistas), designadamente pelas empresas Redes Energéticas Nacionais, S.A (REN) e Energias de Portugal, (EDP) Distribuição, ambas geridas por um Operador de Sistema Independente (OSI) (actualmente é a REN [2, 3], responsável por certificar a segurança e o melhor funcionamento de toda a rede.

Na distribuição de funções *supra* mencionadas, em termos de procedimentos negociais de energia, é usada a plataforma Ibérica comum de transacção de energia, em que os sectores português e espanhol estão interligados. É importante referir que os principais intervenientes (grossistas e retalhistas) podem negociar o volume/preço e/ou compra/aquisição de energia a ser transacionada entre ambos os países, isto é, ambos têm total liberdade para participar.

O mercado grossista está estruturalmente bem definido, em que a aquisição de energia pode ser efectuada por dois meios distintos, o mercado organizado e não organizado. O mercado organizado é composto pelo mercado diário ou mercado em bolsa (mercado *Spot*), pelo mercado intradiário e a prazo. Quanto ao mercado não organizado, efectivamente trata-se de uma contratação bilateral. No acordo bilateral, a negociação é efectuada entre os agentes grossistas e retalhistas, na qual pretendem a compra e/ou venda do bem, até um valor aceitável para ambos, para os diversos horizontes temporais. É de realçar que os consumidores finais podem optar por celebrar um contrato bilateral com o comercializador, visto que são livres de escolher o seu próprio fornecedor de energia.

Em todos os mercados, o ganho fundamental a retirar por parte dos grossistas e retalhistas é um valor considerado óptimo para ambas as partes. Este valor, no mercado bolsista é fixado através da intersecção das curvas de oferta por parte dos produtores e de

procura por parte dos comercializadores, tratando-se de um valor dito marginal.

A evolução dos mercados grossista e retalhista não garante a perfeição em todos os campos realmente importantes para todos os participantes, demonstrando que o sistema eléctrico torna-se por vezes instável. Existem razões para que isso aconteça, uma delas é a forte penetração de energia renovável na rede que tem vindo a aumentar significativamente. Actualmente a energia eólica é a fonte de energia com maior aproveitamento/utilização em Portugal.

O elevado crescimento da produção de energia eólica deve-se ao facto de uma tentativa de reduzir a dependência da utilização de combustíveis fósseis e também de utilização de tarifas *Feed-in* (FiT), através de renumerações aos produtores eólicos. Discute-se em alguns estados membros da EU que as tarifas devem acabar, o que prejudicaria o programa de energia sustentável. Face a este impasse, existe também a preocupação de como remunerar os produtores, podendo estes ter de explorar métodos alternativos de remuneração através de contratos bilaterais, por forma a manter os benefícios.

Deste modo, algumas questões atuais, bastante relevantes para a promoção de energias renováveis, são as seguintes: Como remunerar os produtores de energia renovável? Simplesmente permitindo a sua participação no mercado em bolsa? Ou será que explorando métodos alternativos de remuneração se conseguirão obter maiores benefícios? Esta dissertação tem em conta estas questões, pretendendo dar uma resposta concreta a cada uma delas.

Concretamente, pretende-se desenvolver um modelo bilateral baseado na gestão dinâmica de preço e volume, cuja grande valência consiste especificamente na definição de períodos horários por parte do retalhista, assumindo este o risco associado à volatilidade do preço e consequentemente garantindo ao produtor a sua remuneração através deste tipo de contrato sem tarifas subsidiárias (*feed-in*).

1.2 Principais Objectivos

Os principais objectivos da presente dissertação consistem no seguinte:

- Estudo da dinâmica de comercialização de energia eléctrica no mercado diário e através da negociação bilateral;
- Adopção do modelo desenvolvido por Correia [4] para remuneração de produtores de energia renovável (eólica). O modelo diz respeito a um novo tipo de contrato bilateral, de longa duração, permitindo remunerar os produtores sem que estes

terem necessariamente de recorrer ao mercado bolsista. Em termos mais específicos, o modelo refere-se à contratação bilateral de energia com gestão dinâmica de preços e volumes, para três períodos diários.

- Extensão do modelo desenvolvido por Correia [4], por forma a propiciar aos agentes a negociação energia eólica considerando três, quatro ou cinco períodos diários através do desenvolvimento de um método de aproximação;
- Desenvolvimento de casos de estudos práticos, por forma a testar o modelo estendido de negociação bilateral com gestão dinâmica de preços e volumes. Estudo comparativo de características de comportamento entre os três tipos de contrato com base no modelo de negociação desenvolvido por Lopes et al. [5, 6] e estendido por Lopes e Coelho [7, 8] e Lopes et al. [9, 10];
- Utilização do sistema [MATREM](#)¹[11, 12] para a realização das simulações. Análise detalhada dos resultados referentes ao novo contrato bilateral entre um produtor eólico genérico e um retalhista (entidade de referência no sector).

1.3 Contribuições

O desenvolvimento do trabalho referido na presente dissertação em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, tendo como alicerce o apoio do Laboratório Nacional de Energia Geologia, deu origem às seguintes contribuições:

- Extensão do modelo desenvolvido por Correia [4], com vista a estabelecer um novo formato de contratação que permite agilizar o processo de negociação entre o produtor eólico e o retalhista;
- Como resultado da contribuição anterior, salienta-se o desenvolvimento de um novo tipo de contrato com Gestão Dinâmica de Preço e Quantidade de energia para o produtor eólico, pretendendo evidenciar a possível aplicabilidade de um contrato bilateral personalizado e transparente para com o retalhista;
- Desenvolvimento de um caso de estudo real, permitindo testar as características do novo contrato bilateral de Gestão Dinâmica de Preços e Volumes. A elaboração do caso de estudo serviu para estabelecer um comparativo de desempenho entre o mercado em bolsa, o modelo de Correia [4] e o novo modelo de contratação, evidenciando a potencialidade do novo formato de contratação por Gestão Dinâmica de Preços e Volumes;

¹Simulador desenvolvido no âmbito do projecto MAN-REM (FCOMP-01-0124-FEDER-020397), financiado pelo FEDER através do programa COMPETE - Programa Operacional Temático Factores de Competitividade e pela FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia.

1.4 Estrutura do documento

Além do presente capítulo, a dissertação é constituída por mais cinco capítulos. O segundo capítulo começa com a história da liberalização do sector eléctrico e os principais acontecimentos que impulsionaram a sua criação. Neste capítulo é abordado com maior detalhe os conceitos elementares de cada modelo de contratação, realçando quais as suas principais vantagens e desvantagens. Por fim, analisa os sistemas multi-agente, quando utilizados em Mercados de Energia do MIBEL.

No terceiro capítulo é apresentado um enquadramento entre a energia eólica e os mercados de energia eléctrica, o crescimento global da energia eólica e o actual panorama de Portugal no aproveitamento desta fonte renovável. Neste capítulo são enunciadas alguns métodos de previsão e os seus modelos associados, assim como algumas características de produção em regime especial [PRE](#) e o impacto que a energia eléctrica têm nos preços do [MIBEL](#).

O quarto capítulo apresenta detalhadamente as extensões efetuadas ao modelo de Correia [4], dando origem ao modelo "negociação bilateral com gestão dinâmica de volumes e preços", com três, quatro e cinco intervalos de volume, destacando-se a metodologia utilizada, e evidenciando-se as suas principais funcionalidades e características;

No quinto capítulo é analisado o modelo de contratação bilateral descrito na presente dissertação, com o auxílio do simulador [MAN-REM](#), através de um caso de estudo com dois cenários distintos, tendo por base a negociação bilateral entre dois agentes, o agente produtor de energia eólica e um consumidor final. O capítulo termina com uma breve análise e discussão dos resultados obtidos e efetua a sua comparação com um cenário onde um produtor eólico iria vender a sua energia no mercado.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões extraídas após o caso de estudo realizado, sendo também indicados alguns tópicos que poderão ser aprofundados em trabalho futuro, no âmbito dos mercados liberalizados e do simulador [MAN-REM](#).

MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

No âmbito da presente dissertação é pertinente contextualizar o panorama do sector eléctrico português após o seu processo de descentralização. Inicialmente é realizado um breve enquadramento histórico do sector eléctrico português, bem como do seu processo de liberalização. Por fim, são identificadas as diferentes tipologias de modelos de mercados de energia eléctrica, destacando as soluções existentes no domínio de contratação bilateral, sendo também realizada uma descrição sucinta do [MIBEL](#), desde a sua estrutura às suas principais características e responsabilidades associadas a todos os agentes participantes no mercado, evidenciando a importância que a contratação bilateral assume no seio do [MIBEL](#).

2.1 A Liberalização do Sector Eléctrico

Nos séculos XIX e XX, os grandes centros económicos catalogavam-se de entidades de poder absoluto consideradas monopolistas e o sector eléctrico não fugia à regra. Ao longo de várias décadas, as mentalidades e ideologias em diversos sectores foram obrigadas a acompanhar outros indicadores estritamente necessários para o bem estar da sociedade, de tal forma que surgiu o conceito de liberalização. Este conceito tornou-se um marco histórico na área da energia, em especial no sector eléctrico mundial, visto que este era tido como um modelo insustentável e ineficiente para garantir o bem-estar do consumidor final. Perante tais deficiências e necessidades, houve inúmeras reestruturações e desafios, a nível tecnológico e sócio-económico, demonstrando o caminho para uma nova realidade, erradicando o domínio total de uma entidade monopolista, e desta forma oferecendo outras opções na área de energia eléctrica.

Tudo começou na década de 70, nos Estados Unidos da América, quando foi iniciada a liberalização nas indústrias de redes como transporte aéreo, telecomunicações e gás natural. Em 1978, com a crescente sensibilização para com o meio ambiente e a procura para fontes de energia alternativa, o Public Utility Regulatory Policy Act ([PURPA](#)), concordou com a produção eléctrica independente, de modo a aumentar a concorrência, competindo entre si para o direito de vender a um único comprador, tentando de certa forma derrubar os velhos monopólios.

Na Europa, admitindo que o sistema utilizado pela forte potência americana poderia trazer outras virtudes para o sector eléctrico retrograda, aplicou-se a ideia de concorrência no Mercado Interno Europeu, de tal forma que, desencadeou-se um conjunto de acções de extrema importância, dentro das quais, o princípio da decomposição das actividades verticalizadas nos diferentes segmentos da sua cadeia de valor. De notar que deste moroso processo, é importante destacar três medidas fundamentais: a desagregação de entidades da mesma cadeia de valor, o incentivo no acesso a terceiros à rede, e a criação de autoridades reguladoras independentes [13].

Iniciou-se no Reino Unido no final da década de 80, a aplicação deste novo paradigma, tendo sido efetuado de forma faseada, tendo começado por incluir os clientes ditos industriais. Consequentemente, existiram mais Estado-Membros a seguir o caminho do Reino Unido, e Portugal foi dos primeiros Estados-Membros a observar as vantagens deste novo caminho.

Em Portugal, até 1975, o Estado Português atribuía a entidades privadas as concessões das áreas específicas do Sistema Eléctrico Nacional ([SEN](#)), não existindo qualquer tipo de concorrência pela actividade de transporte, já que apenas existia uma única entidade encarregue, enquanto que, as áreas de produção e distribuição de energia eléctrica

eram repartidas pelas restantes entidades. De notar, que devido ao excesso de entidades que prestavam o serviço de fornecimento a um número fixo e específico de consumidores de uma concessão, todas elas praticavam tarifas inflacionadas, que consequentemente tornavam os preços finais de energia desajustados para um dado consumidor final de uma determinada concessão [13].

Após Revolução de Abril de 1974, o Estado Português encetou esforços para a nacionalização das entidades responsáveis pela produção, transporte e distribuição de electricidade do SEN através do Ministério da Indústria e Tecnologia, de modo a ser possível a supervisão e controlo de todo o sector eléctrico, uma vez que o fornecimento de energia eléctrica constitui um serviço de interesse económico geral (SIEG). No seguimento deste encadeamento histórico no sector eléctrico português, em 1976, foi criada a entidade pública Electricidade de Portugal, actualmente conhecida com Energias de Portugal (EDP).

Com a criação da Lei de Delimitação de Sectores - nº46/77, o Estado Português designou a EDP para exercer o papel de único operador de energia eléctrica em Portugal Continental, e deste modo tornar o sector eléctrico mais rentável. Com efeito, a EDP assumia uma estrutura verticalmente integrada, interligada a todas as actividades do SEN, concebendo desta forma uma base sólida e fiável. O organograma de uma estrutura verticalmente integrada poderá ser observado com maior detalhe na figura 2.1 [14].

Na visão do consumidor final, a estrutura da figura 2.1 apresenta desvantagens claras, visto que a única entidade a servir o consumidor final é detentora de todo o mercado, adoptando a posição de *price-maker*, e deste modo tendo o poder de influenciar o preço o quanto deseja. Assim, não havendo soluções paralelas, a promoção à inovação e evolução do sector permaneceu obstruída, originando preços de mercado elevados, sacrificando desta forma o bem-estar social.

O Decreto-Lei nº 20/81, de 28 de Janeiro,

“... veio estabelecer medidas tendentes a incentivar a autoprodução de energia eléctrica, restringindo, porém, a qualidade de autoprodutor às pessoas singulares e colectivas que acessoriamente a produzissem.”

Em 1988, salvaguardando as experiências válidas dos pequenos produtores que até então sofreram algumas alterações devido aos "choques petrolíferos", o Decreto-Lei nº 189/88 assinalou a alteração na Lei de Delimitação de Sectores e provocou consequentemente a abertura do sector eléctrico português, revogando o Decreto-Lei nº20/81, permitindo a produção independente e:

“... qualquer tipo de produção combinada de calor e energia eléctrica, incluindo o

aproveitamento de efluentes térmicos, que seja parte integrante de instalações cuja actividade principal não seja a produção de energia eléctrica.”

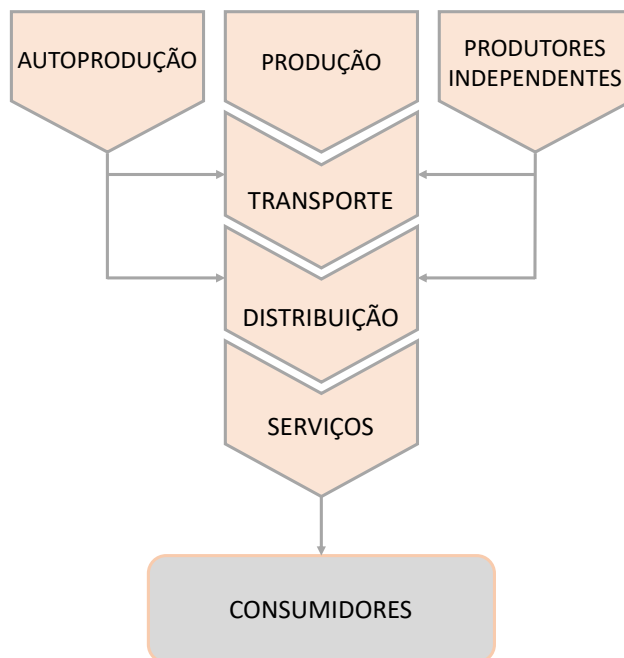


Figura 2.1: Mercado eléctrico baseado numa estrutura verticalmente integrada[15].

Desde 1988, houve por parte do Ministério de Indústria e Energia diversas alterações à lei, tendo como objectivo principal as metas da União Europeia. No início da década de 90, principiou o movimento de liberalização do sector eléctrico na Europa, modalidade que teve início um pouco mais tarde em Portugal, mais precisamente no ano de 1995, com a aprovação de um pacote legislativo (Decretos-Leis nos 182/95 a 188/95) que coexistia em dois subsistemas dentro do SEN, o Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP) e o Sistema Eléctrico Independente (SEI), capazes de garantir transparência entre as partes intervenientes, permitindo o equilíbrio entre as diversas formas de organização que o sector admite.

A aprovação da nova legislação originou uma série de transformações, tendo sido uma excelente contribuição para a desintegração da estrutura verticalmente integrada por parte da EDP, estabelecendo a separação jurídica das actividades de produção, transporte e distribuição, tornando possível o acesso de terceiros às áreas de transporte e distribuição, assegurando um serviço adequado ao público regido pelas leis de mercado.

Actualmente, o sector eléctrico português mantém duas actividades em regime monopolista, as redes de transporte e distribuição geridas pela Rede Eléctrica Nacional (REN) e SEN respectivamente. No entanto, é admitido o acesso de outros intervenientes

em condições de transparência e imparcialidade, onde as tarifas de acesso à rede devem obrigatoriamente ser aprovadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), criada através do despacho do Decreto-Lei n.º 187/95. As redes de produção e comercialização são caracterizadas pelo livre acesso à concorrência, havendo um aumento considerável de intervenientes a cada ano que passa.

O processo de liberalização na União Europeia foi realizado de forma faseada e Portugal não foi excepção. Numa primeira fase consistia apenas na introdução dos grandes consumidores industriais, de maior consumo e níveis de tensão mais elevados, sendo posteriormente expandido de forma progressiva até abranger todos os consumidores. A figura 2.2 ilustra o formato do encadeamento faseado da liberalização do sector eléctrico nacional.

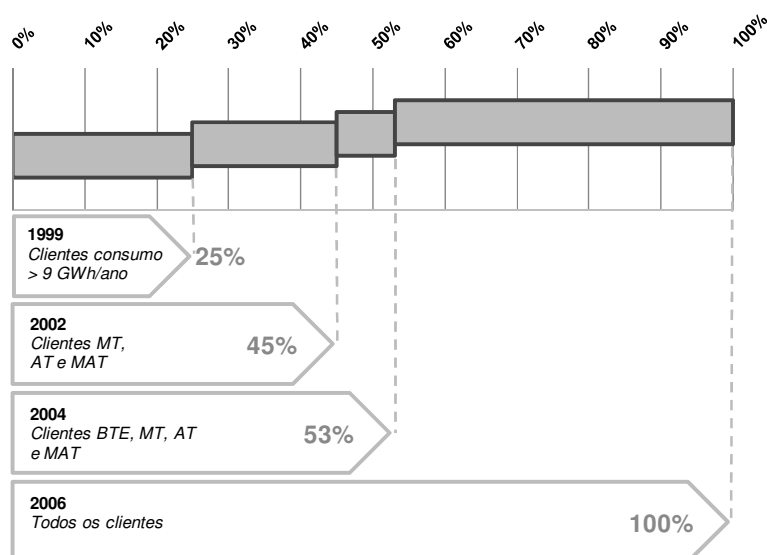


Figura 2.2: Calendarização da abertura do mercado português de energia eléctrica até à total liberalização.

Todo o processo de liberalização ficou concluído a 4 de Setembro de 2006, a partir da qual todos os clientes passaram a usufruir da possibilidade de escolher livremente o seu fornecedor de electricidade. Esta data antecipa o cumprimento da Directiva estabelecida pela União Europeia, n.º 2003/54/CE, em complemento à Directiva 1996/92/CE, que determina medidas concretas a serem tomadas (até à data limite de 1 de Julho de 2007), em que todos os clientes de energia eléctrica poderão escolher livremente o seu fornecedor de electricidade [13].

Em Portugal Continental, o actual sistema eléctrico nacional coexiste em simultâneo com o Mercado Livre (ML) e o Mercado Regulado (MR), onde todos os agentes económicos

poderão desenvolver as suas relações contratuais de energia directamente com um comercializador do **ML** ou simplesmente permanecerem no **MR**, pagando tarifas de último recurso, ao abrigo das condições aprovadas pela **ERSE**. Com a publicação do Decreto-Lei n.º 75/2012, concretizou-se o calendário para a extinção das tarifas reguladas de venda de eletricidade a clientes finais com consumos em Baixa Tensão Normal (**BTN**) no território nacional, situação que é ilustrada na figura 2.3 [13].

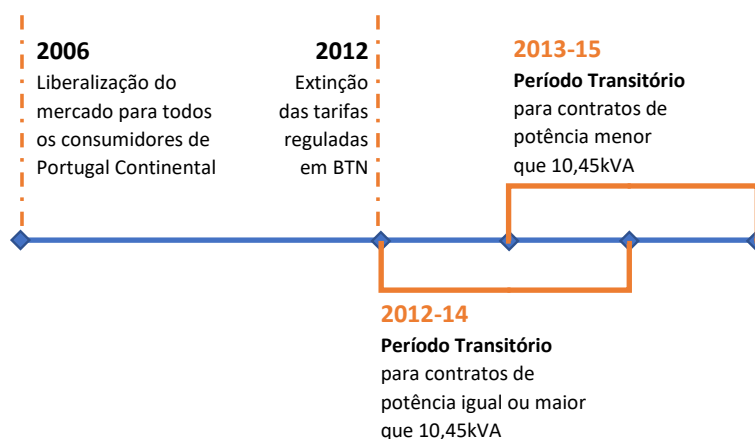


Figura 2.3: Fases de abertura do mercado de energia elétrica por tipo de consumidor e extinção de tarifas [16]

2.2 Modelos de Comercialização de Energia Eléctrica

Atualmente, a actividade no sector eléctrico rege-se por plataformas de negociação e modelos de mercado que certificam o seu bom funcionamento. Estas actividades baseiam-se em relações de negociação entre os diversos agentes participantes no mercado (produtores, comercializadores e consumidores), para garantir um fim comum, isto é, venda ou compra de um bem, neste caso em particular, a energia eléctrica.

Tendo em conta que o armazenamento de grandes quantidades de energia remete de certa forma para uma situação utópica, a nível económico, os modelos de mercado apresentam um papel preponderante na actividade de comercialização de energia eléctrica, conferindo-lhe entre outras características, flexibilidade, transparência, objectividade e celeridade nas negociações adjacentes aos protocolos de comunicação. Deste modo, serão seguidamente descritos os principais modelos que alicerçam a estrutura orgânica dos Mercados de Energia Eléctrica.

2.2.1 Modelo em Bolsa

O modelo em bolsa no sector eléctrico traduz essencialmente como o centro negocial para a troca de energia, em que o preço de mercado da electricidade é determinado no mercado *Spot*. Este tipo de modelo demonstra ser competente na capacidade de minimizar algumas falhas resultantes da comercialização de energia eléctrica, dado que poderão existir complicações, tanto ao nível de produção como da carga e também das próprias limitações físicas da rede.

Como na maior parte dos mercados, o modelo em Bolsa é utilizado por três tipos de intervenientes, os agentes grossistas, retalhistas e consumidores finais, proporcionando um encadeamento de interações entre ambos (propostas de compra e/ou venda de energia eléctrica). As propostas de compra e de venda são ordenadas pela ordem do seu preço, determinando-se posteriormente o preço final (*Market Clearing Price*), que representa precisamente o valor monetário atribuído a um activo, neste caso electricidade, mediante o volume de energia adquirido.

Para que as propostas negociadas sejam objectivas e transparentes, existe uma entidade independente responsável para este tipo de exercício, designada de Operador de Mercado (OM). O encadeamento de propostas efectuadas pelos os agentes participantes estabelecem duas curvas características, a de oferta e a da procura, constituindo assim blocos de energia para um determinado preço e quantidade. Para tal e com a devida informação o OM, apresentará aos demais intervenientes o despacho óptimo de electricidade para um determinado horizonte temporal.

O processo de comercialização a curto prazo é feito através de leilões *Day-Ahead*, ou seja, no dia anterior (D-1) os agentes produtores que desejem vender energia no mercado devem comunicar as suas ofertas, de modo a que o OM envie o despacho económico para o Operador de Sistema (OS), para que este avalie as ofertas para posteriormente estabelecer as propostas aprovadas para aquisição de energia no dia D. Por forma a gerir as negociações que ocorrem neste tipo de mercado, os despachos económicos são estabelecidos mediante uma discretização ao longo das 24 horas, em 24 ou 48 intervalos de uma hora ou de trinta minutos, que representam respectivamente um dia (D) completo [17].

No Mercado em Bolsa a competitividade é tão exigente que é necessário encontrar para os diversos preços, agentes participativos que licitem esses valores. Como acontece em qualquer tipo de acordo negocial, o objectivo principal dos agentes participativos é lucrar o máximo possível. No entanto, neste tipo de mercado, torna-se um pouco mais complexo. De notar que neste tipo de mercado, os produtores que oferecem valores mais competitivos são habitualmente os mais beneficiados [18].

2.2.2 Modelo de Contratos Bilaterais

O modelo de contratos bilaterais formou-se após a liberalização do sector eléctrico. A todos os participantes no mercado, este modelo tornou-se uma séria alternativa na contratação entre agentes contratantes, permitindo-lhes obter um contrato mais perto do esperado, protegendo-os de qualquer tipo de risco inerente à volatilidade de preço presentes frequentemente nos mercados de curto prazo.

O processo negocial deste modelo rege-se por um acordo bilateral entre os agentes contratantes (produtores, retalhistas e consumidores), possibilitando negociar/definir livremente os preços e respectivos volumes energéticos, explorar termos e condições contratuais mais apelativos, e deste modo eliminar a limitação relativa ao mercado de curto prazo (não é possível identificar quem presta o serviço e a quem se presta o serviço). À semelhança dos mercados de curto prazo, o OS valida ou declina os contratos celebrados, caso constitua qualquer conflito na rede.

Tendo em consideração que a presente dissertação terá especial atenção aos Contratos Bilaterais, nas secções 2.2.2.1 e 2.2.2.2 serão apresentados dois tipos clássicos de contratos bilaterais, físicos e de índole financeira, focando principalmente os contratos de índole financeira.

2.2.2.1 Contratos Bilaterais Físicos

Os contratos bilaterais físicos estabeleceram uma nova realidade nos mercados de energia, com especial atenção na interacção directa entre os agentes participantes, tendo em conta que a liquidação diz respeito a um bem físico (electricidade). A denominação física acontece devido à integração de diversas disposições, tais como o preço do serviço a fornecer, a qualidade de serviço ou a quantidade de potência injectada na rede, demonstrando que não haverá restrições/congestionamentos das condições de exploração do sistema eléctrico.

Dada a liberdade na negociação por parte dos agentes contratantes, estes deverão respeitar todas as condições acordadas (o volume de energia e a sua respectiva data e local de entrega) por forma a não colocar em causa a segurança da rede eléctrica. De notar que nos acordos bilaterais existe um compromisso partilhado, onde uma das partes se compromete a assegurar o serviço de fornecimento de um determinado volume de energia eléctrica para uma determinada data, e a outra parte assume o compromisso de efectuar o respectivo pagamento [19].

“...Os contratos bilaterais físicos permitem um maior grau de segurança relativamente ao preço de energia eléctrica, sendo normalmente celebrados para horizontes temporais de longo prazo (tipicamente iguais ou superiores a 1 ano), traduzindo-se na prática

numa menor exposição à volatilidade de preços registada no mercado em bolsa... [13]”

Tendo em conta a citação *supra* mencionada, estes contratos demonstram algumas limitações, sendo a principal referente ao preço do acordo ser fixo e deste modo envolver também um certo risco, por acção de possíveis erros de previsão de carga, ou simplesmente pela incerteza associada ao preço dos combustíveis fósseis, levando a que o preço acordado entre as partes seja por vezes superior ou inferior ao preço do mercado em bolsa [20, 21].

2.2.2.2 Contratos de Índole Financeira

Este tipo de contrato tem vindo a beneficiar constantemente com as reestruturações do sector eléctrico, apresentando uma capacidade invulgar, operando sobre o risco mais acentuado dos mercados a curto prazo. Actualmente, em Portugal, os instrumentos financeiros negociados no mercado liberalizado de electricidade são os derivados (mecanismos de *hedging*), podendo ser negociados no mercado a prazo do MIBEL. Nestes contratos, os agentes participantes procuram prevaver suas posições face ao risco existente nos mercados a curto prazo [19]. Estes produtos podem ser classificados em três tipos distintos:

- **Contratos a Prazo** - Neste conjunto inserem-se os contratos a prazo individualizados, tipicamente designados por contratos *forward*, e os contratos futuros;
- **Opções Financeiras** - Estas poderão ser diferenciadas em duas modalidades de negociação distintas: I - padronizadas, ou seja, negociadas em mercado regulamentado (em *organized trading facilities* (OTF)), ou II - não padronizadas, sendo negociadas fora do mercado regulamentado (em mercados de balcão ou *over-the-counter* (OTC));
- Contratos por Diferenças ou *Swaps*.

De seguida, serão descritos os principais tipos de derivados financeiros mais utilizados apresentados na figura 2.4, representando para cada tipo, diferentes tipos de risco de forma a minimiza-lo.

Contratos Forward são instrumentos derivados semelhantes aos futuros, mas feitos à medida do cliente. São geralmente transaccionados fora do mercado regulamentado (OTC), nos termos das quais as partes acordam mutuamente as condições relativas à venda ou aquisição de um determinado activo subjacente, neste caso a electricidade, por um determinado preço, cujo pagamento e entrega desse activo só será efectuado numa data futura, previamente estabelecida [13].

Com efeito, quanto à sua natureza, este contrato permite a personalização do negócio com vista à realização de operações de cobertura de risco adaptadas às pretensões do

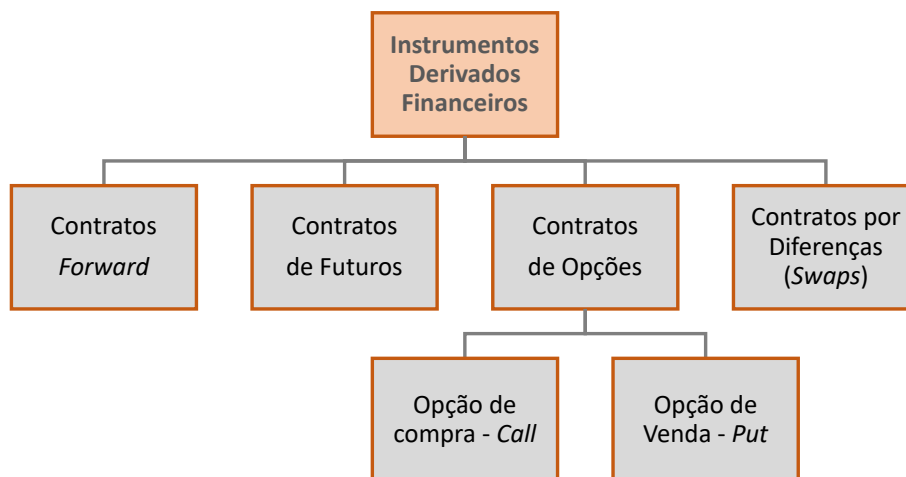


Figura 2.4: Diagrama dos instrumentos derivados financeiros

agente contrante. Essencialmente, estes contratos, embora mais vantajosos quanto à sua simplicidade, maleabilidade e individualização, apresentam um conjunto de problemas, dos quais se destacam os seguintes pontos [15]:

- existe uma certa morosidade negocial devido à dificuldade de encontrar a contraparte que se identifique/ajuste às especificações contratuais;
- há uma grande dificuldade ou impossibilidade em alterar ou anular um contrato;
- são instrumentos com pouca liquidez, existindo um certo risco da contraparte não cumprir o contrato celebrado (mais propriamente, exposição ao risco de crédito).

Contratos de Futuro são contratos padronizados que representam o direito de comprar ou adquirir um determinado volume de energia, numa data específica e a um preço previamente fixado entre os agentes contraentes. Este tipo de contrato surgiu no sentido de evitar os problemas associados aos contratos *forward*, demonstrando ser um tipo de contrato mais eficaz no que diz respeito à segurança dos seus utilizadores. O contrato de futuro é caracterizado pelos seguintes pontos:

- maior segurança no acordo negocial através da câmara de compensação;
- minimiza o risco de crédito, visto ser negociado em mercado regulamentado;
- garante maior liquidez de mercado para os especuladores;
- os capitais próprios do investidor nunca poderão ser inferiores a um montante mínimo, designado por margem de manutenção, até ao cumprimento do contrato.

No entanto, existem aspectos negativos neste tipo de contrato, entre os quais a dificuldade de anulação de um contrato de futuro, que só poderá ser feita através da operação

de reversão, visto que os agentes intervenientes não se relacionam directamente entre si [15, 22].

Contratos de Opções definem-se por serem contratos padronizados a prazo que podem ser realizados em mercados organizados ou não organizados (OTC), conferindo ao seu titular, em troca de uma contrapartida monetária (designado como prémio), o direito mas não uma obrigação, de comprar (*call*) ou de vender (*put*), uma determinada quantidade de energia eléctrica, numa determinada data, a um preço pré determinado (preço de exercício). Dada a possibilidade de os agentes contratantes poderem utilizar ou não o activo subjacente, os contratos de opções apresentam as seguintes características [15]:

- a possibilidade de anular o contrato, caso encontre algo mais vantajoso;
- permite de certa forma minimizar o risco associado comparado aos contrados de futuros;
- garante maior liquidez de mercado para os especuladores;
- a possibilidade de assumir em pleno o risco de incumprimento ou insolvência das respectivas contrapartes.

Os contratos de opções podem assumir duas formas de exercício, sendo nomeadamente as seguintes [15]:

- Entrega Monetária/Liquidação Financeira: no caso do *call*, o agente comprador exige um valor igual ao lucro que obteria, caso vendesse o bem no mercado *spot*; no *put*, o agente comprador exige um valor igual ao lucro obteria, caso comprasse no mercado *spot*;
- Entrega Física: exige-se por parte do comprador ao vendedor, a entrega física de energia, nas condições estabelecidas, ao preço de exercício.

Contratos por Diferenças Cfd ou Swaps são fundamentalmente contratos a prazo caracterizados por uma enorme flexibilidade entre os agentes contratantes e que estes utilizam como um instrumento de cobertura de risco, onde é somente estabelecida uma liquidação financeira entre as partes [13]. Neste tipo de contrato, a inexistência de liquidação física entre os agentes intervenientes acaba também por propiciar um aspecto proveitoso do ponto de vista técnico, uma vez que não produz qualquer tipo de interferência no despacho obtido no mercado a curto prazo [20]. Neste tipo de contrato, os agentes contrantes designam o preço fixo, mais conhecido por *strike price*.

As partes contraentes estabelecem um preço referência para o cálculo das diferenças, sendo que para estas situações seja comum considera-se o preço do mercado em bolsa. A partir daqui, terão que ser tidos em conta dois cenários:

- se o preço de referência se encontrar acima do *strike price*, o vendedor terá que compensar essa diferença ao comprador;
- se o preço de referência se encontrar abaixo do *strike price*, será o vendedor o agente recompensado.

Estas condições conferem uma certa protecção para os agentes contratantes contra uma eventual oscilação de preços registada em mercados a prazo [23]. A realização das várias prestações decorre ao longo de todo o tempo de vigência do contrato, o que não acontecia nos contratos *forward* e de futuros. Devido à sua flexibilidade estrutural e operacional, os *swaps* são muito requisitados em mercados energéticos europeus, acabando por constituir uma das maiores alternativas e/ou inovações de sempre em mercados financeiros.

2.2.3 Modelo Misto

O modelo misto (ou híbrido) é um *mix* dos modelos acima referidos, apresentando uma interacção entre o modelo *pool* e o modelo de **contratos bilaterais**, tal como se pode observar na figura 2.5, proporcionando uma maior variedade de opções a todos os agentes consumidores, justamente por permitir a negociação directa com os agentes produtores (que poderão oferecer condições mais vantajosas) através da celebração de um contrato bilateral ou, em alternativa, a aquisição de energia eléctrica recorrendo voluntariamente ao mercado em bolsa. À semelhança, no modelo *pool*, a entidade responsável pelas transacções na bolsa é o OM, sendo também responsável pela gestão e organização dos contratos bilaterais estabelecidos.

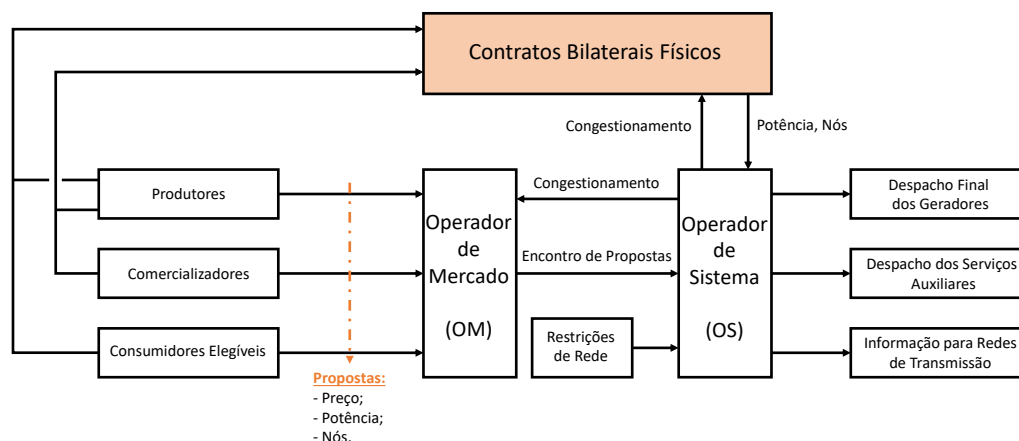


Figura 2.5: Modelo misto de exploração do sector eléctrico [15].

2.2.4 O Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL)

A liberalização do sector eléctrico teceu um novo caminho a seguir por parte da comunidade mundial. Na Europa, o Reino Unido iniciou o seu processo de desregulação do

sistema de entidades verticalmente integradas em 1989, mas para iniciar os procedimentos necessários considerou os complementos/alterações de certas emendas ou cláusulas legisladas no *The Electric Lighting (Clauses) Act* ao longo da sua existência, tendo como principal objectivo a implementação das cláusulas elaboradas na versão emitida em 1983.

A legislação elaborada, obedecia a critérios específicos para produtores independentes, uma vez que existia a obrigação legal de aquisição de energia por partes destes, conduzindo deste modo à privatização de empresas eléctricas nacionais que originou a criação de um mercado grossista obrigatório (início de actividade em 1990) que funcionaria com base no modelo de bolsa [20].

A União Europeia (UE), observando a importância da liberalização para o bem da economia europeia, procurou promover medidas e procedimentos universais a todos os Estados-Membros, que se traduziram na aprovação das Directivas 96/92/CE e 2003/54/CE, no sentido de promover através de um processo evolutivo a criação do Mercado Único Europeu de Energia.

Entre os estados pioneiros em Mercados de Energia, Portugal acompanhou a competência e o ambicioso projecto do Reino Unido, antevendo as múltiplas vantagens para o desenvolvimento do próprio país. Assim, a partir de uma iniciativa conjunta entre o Governo de Portugal e o Reino de Espanha foi criado o MIBEL[14].

O processo de criação do MIBEL começou em a 29 de Julho de 1998, quando o Ministro da Economia de Portugal e o Ministro da Indústria e Energia de Espanha assinaram um acordo com vista a promover o contributo de ambos os países em matéria de energia. A 14 de Novembro de 2001, as administrações espanhola e portuguesa celebraram o Protocolo de Colaboração para a criação do Mercado Ibérico de Electricidade, tendo por objectivo estabelecer as regras para construção de um mercado comum. Após este acto histórico para ambos os países, o MIBEL tem vindo a evoluir, com a celebração de outros acordos importantes para o desenvolvimento do sector eléctrico Ibérico apresentados na tabela 2.1.

É relevante referenciar que a criação do MIBEL protagonizou um acto histórico no que diz respeito ao sector energético, que de certa maneira contribuiu para a aproximação de políticas diferentes entre dois estados, criando um forte laço de cooperação para o desenvolvimento económico da Península Ibérica. O Protocolo de Colaboração celebrado em 2001, visa beneficiar todos os intervenientes na área da energia, em especial os agentes retalhistas na aquisição de electricidade (com ou sem entrega física) em regime de livre concorrência a qualquer agente produtor sediado na Península Ibérica.

O MIBEL como conceito multifacetado reúne um conjunto de metas para os seus

Tabela 2.1: Datas de eventos importantes para a criação do MIBEL.

Data	Protocolos	Objectivos e Contribuições
Julho 1998	Acordo e Cooperação entre os Estados	Promover a cooperação de ambos os países em matéria de energia.
Novembro 2001	Protocolo de Colaboração	Entendimento para a criação do MIBEL; Instituir regras para um mercado comum.
Novembro 2003	Memorando de Entendimento	Estabelecer a calendarização para a concretização do MIBEL.
Janeiro 2004	Acordo de Lisboa	Definição de elementos-chave para a constituição e criação do MIBEL.
Outubro 2004	Acordo de Santiago de Compostela	Directiva nº2003/54/CE, Processo de Aplicação: Aposta na Integração de OMI.
Julho 2007	Directiva nº2003/54/CE	A integração oficial dos dois mercados liberalizados (data acordada na Directiva).
Janeiro 2008	Revisão do Acordo de Santiago de Compostela	Garantir o sucesso do MIBEL: Ampliação da capacidade e complexidade.
Janeiro 2009	XXIV Cimeira Luso-Espanhola	Acordo para a constituição definitiva do OMI: Integração dois organismos PT/ES.

agentes intervenientes, nomeadamente [24]:

- Beneficiar os consumidores de electricidade dos dois países, através do processo de integração dos respectivos sistemas eléctricos;
- Estruturar e garantir o funcionamento do mercado com base nos princípios da transparência, livre concorrência, objectividade, liquidez, auto-financiamento e autoorganização;
- Favorecer o desenvolvimento do mercado de electricidade de ambos os países, com a existência de uma metodologia única e integrada, para toda a Península Ibérica, de definição dos preços de referência;
- Permitir a todos os participantes o livre acesso ao mercado, em condições de igualdade de direitos e obrigações, transparência e objectividade;
- Favorecer a eficiência económica das empresas do sector eléctrico, promovendo a livre concorrência entre as mesmas.

Todavia, perante as diferentes variantes de evolução dos mercados espanhol e português, a criação do Mercado Ibérico envolve alguns obstáculos, entre os quais é importante realçar alguns aspectos relevantes relativamente à organização do mercado. Segundo a [ERSE](#) ambos os Estados estão em concordância em inúmeros pontos, relativamente à organização do [MIBEL](#). Contudo existe um ponto bastante discutido, com uma definição pouco desenvolvida, de como introduzir harmoniosamente um mercado de contratos bilaterais e um mercado organizado[13].

2.2.5 A Estrutura do MIBEL

Com a constituição do Mercado Ibérico de Energia Eléctrica, através do Acordo de Santiago de Compostela, manifestando-se assim a cooperação entre os dois países, iniciou-se o processo para um mercado de electricidade a dois, designado de **MIBEL**. Com efeito, existiu a necessidade de rever o quadro jurídico e as obrigações nele contidas de modo a permitir uma realização efectiva do mercado Ibérico. O artigo 1.º estabeleceu a disposição geral de tipo de mercados, distinguindo-se em dois tipos [24]:

I - Mercados Organizados (artigo 6.º):

- **Mercado Diário:** Mercado onde são efectuadas transacções referentes a "blocos de energia" com entrega no dia seguinte ao da contratação, da qual a liquidação é necessariamente por entrega física (mercado em bolsa);
- **Mercado Intradiário:** Mercado de contratação para o próprio dia, de liquidação obrigatória de entrega física (mercado em bolsa);
- **Mercado a Prazo:** Mercado de transacções em contratos de instrumentos financeiros cujos activos subjacentes são blocos de energia, apenas com entrega posterior ao do dia de celebração do contrato e com liquidação física ou não.

II - Mercados Não Organizados | Contratação Bilateral: Mercado onde se realizam transacções ou contratos de energia eléctrica, sendo possível negociar instrumentos financeiros de forma bilateral (por diferenças) e fora de balcão ou mercado, tipicamente referidos como transacções *Over-the-Counter* (OTC).

O artigo 4.º do acordo definiu a criação de um Operador do Mercado Ibérico (OMI), dividido em 2 pólos, (OMIP) e (OMIE), tendo como principal objectivo a gestão de participações sociais. O pólo português (OMIP) é responsável pelo mercado a prazo de energia, e o pólo espanhol (OMIE), responsável pelo mercado diário e intradiário [20]. A partir da figura 2.6 é possível identificar um esquema referente à constituição do MIBEL.

2.2.5.1 Mercado Diário

O mercado organizado do **MIBEL**, designado como diário, é assegurado pelo pólo espanhol **OMIE** e define-se como uma plataforma a curto prazo, isto é, onde se transaciona energia eléctrica para entrega no dia D+1 ao da negociação (D), formando um preço para cada uma das 24 horas de cada dia e para cada um dos 365 ou 366 dias de cada ano. A hora de negociação deste mercado é definida pela hora legal espanhola. É importante frisar que nesta plataforma só são aceites propostas/pedidos a agentes registados, que cumpram as regras estipuladas pelo (OMIE) [18]. Pelos fundamentos básicos de economia, o modo de funcionamento deste mercado,

“... é feito com base em ofertas simples ou complexas de compra e venda, onde todos os agentes produtores são remunerados ao preço marginal, justamente pelo facto deste

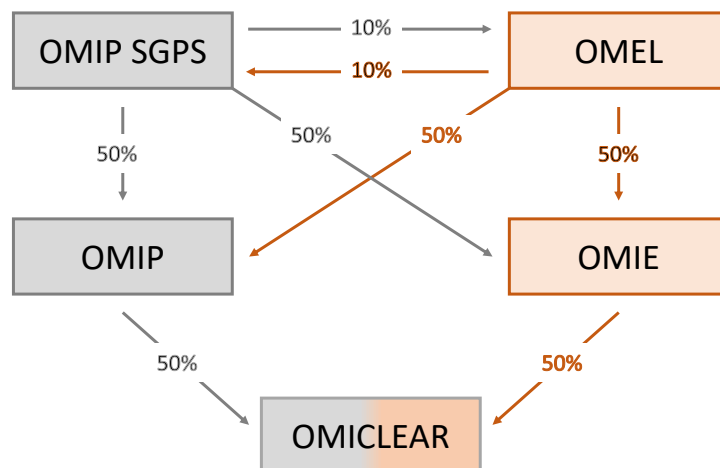


Figura 2.6: Estrutura corporativa do MIBEL (adaptada OMIE)

mercado actuar segundo um modelo de preço marginal único... [13]”

Teoricamente, baseia-se na intersecção entre a curva de oferta e de procura, sendo idêntico ao funcionamento tradicional de mercados, onde a curva de oferta tem, necessariamente, inclinação positiva, e em sentido oposto, se encontra a curva de procura, e deste modo poder-se-á assegurar que o preço do mercado será o menor dos preços, garantindo assim que a oferta satisfaça a procura, independentemente se a procura é elástica ou rígida.

Importa referir que este mercado abrange em simultâneo o território português e espanhol, sendo importante analisar previamente se as capacidades de interligação da rede entre os dois países garantem o fluxo de energia em curso no mercado. Com efeito, caso haja conflito na rede, executa-se o processo *Market Splitting* (ver figura 2.7) , de modo a certificar uma separação dos preços de mercado, isto é, serão designados novos preços para ambos os países, permitindo o descongestionamento do trânsito de energia e a fiabilidade da rede. Esta solução ocorre de acordo com as regras definidas pelo Conselho Ibérico de Reguladores para o mercado [16].

2.2.5.2 Mercado Intradiário

O mercado intradiário é visto como um complemento ao mercado diário, oferecendo a possibilidade a todos os agentes intervenientes de efectuarem ajustes de compra ou venda de energia eléctrica até quatro horas antes da hora estipulada, face a aquisições que foram anteriormente estabelecidas em mercado diário, independentemente do modo de contratação[16].

O modo de funcionamento deste tipo de mercado é caracterizado pelas seis sessões distintas para os pedidos de ajuste de compra ou venda de energia eléctrica, onde cada

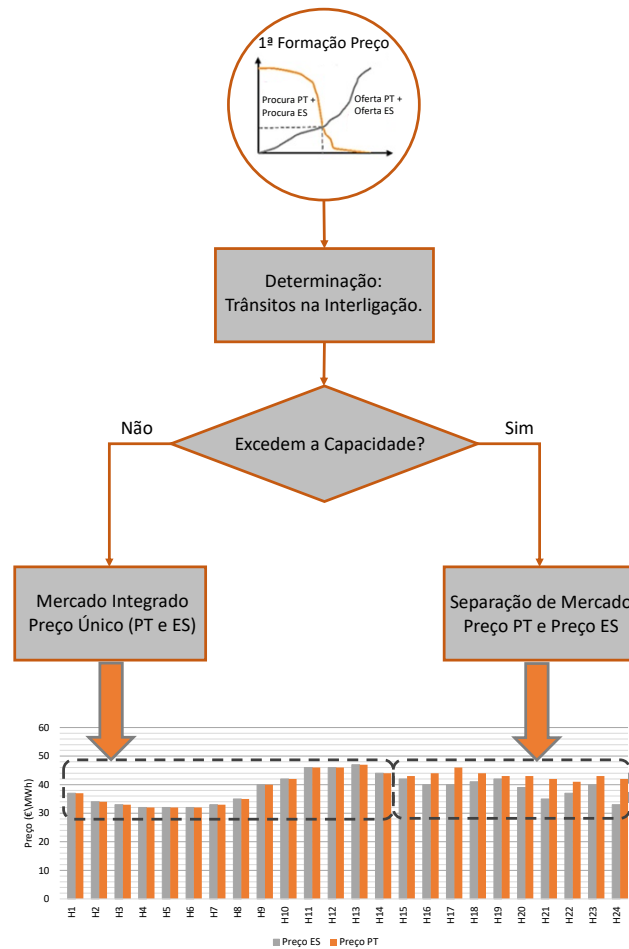


Figura 2.7: Processo de formação de preço em mercado diário [16].

oferta é formada pelo dia e hora a que se reporta, a sessão a que se destinam e o preço e volume de electricidade associados. À semelhança do mercado diário, este mercado abrange todas as horas do dia obedecendo à hora legal espanhola, e os pedidos só poderão ser submetidos exclusivamente por agentes registados, que obedeçam às regras de funcionamento do OMIE. O alinhamento das seis sessões para o dia da negociação D é dado pelo horário de cada sessão mostrado na tabela 2.2 [13].

2.2.5.3 Mercado a Prazo

O mercado a prazo distingue-se por ser um mercado organizado e regulamentado, gerido pelo pólo português, OMIP. Este mercado assume um papel bastante importante no mercado Ibérico, na medida em que permite a transacção e negociação de instrumentos financeiros sob a forma de derivados com liquidação física ou por diferenças, num espaço de tempo mais longo, correspondendo ao prazo pré-fixado em cada contrato negociado [16].

Tabela 2.2: Alinhamento dos horários das seis sessões do Mercado Intradiário (adaptada OMIE)

Evento	1 ^a Sessão	2 ^a Sessão	3 ^a Sessão	4 ^a Sessão	5 ^a Sessão	6 ^a Sessão
Abertura de Sessão	17:00	21:00	01:00	04:00	08:00	12:00
Encerramento de Sessão	18:45	21:45	01:45	04:45	08:45	12:45
Concertação	19:30	22:30	02:30	05:30	09:30	13:30
Recepção de Desagregações	19:50	22:50	02:50	05:50	09:50	13:50
Publicação PHF	20:45	23:45	03:45	06:45	10:45	14:45
Horizonte de Programação (Períodos de Horário)	27 horas (21-24)	24 horas (1-24)	20 horas (5-24)	17 horas (8-24)	13 horas (12-24)	9 horas (16-24)

NOTA: Os horários de cada sessão obedecem à hora legal espanhola.

Os instrumentos financeiros transaccionados no mercado a prazo definem-se pela necessidade de exposição ao risco por parte dos seus agentes intervenientes, de tal forma que estes pretendem proteger as suas aplicações no mercado, dependendo da elevada imprevisibilidade e volatilidade de preços registados no mercado diário, da liquidez de mercado e da presença de especuladores. Neste mercado, estão disponíveis contratos *forward*, de futuros, de opções e por diferenças (*Swaps*). A negociação no mercado a prazo poderá ser executada através de dois níveis distintos [25]

- **Negociação em Contínuo:** processa-se dentro do horário de negociação definido no Regulamento de Negociação;
- **Negociação em Leilão:** A realização de cada sessão de leilão ocorre nas quatro primeiras quartas-feiras de cada mês, onde existem obrigações de compra para os comercializadores de último recurso Ibéricos.

Atualmente, no OMIP, os produtos mais transacionados e, por isso, mais comuns, são os contratos de futuros. No OMIP existe ainda a possibilidade de se efectuarem liquidações de operações em mercado de balcão (OTC). Estas liquidações são firmadas entre as partes, sendo o mercado organizado a assumir o risco de crédito das contrapartes [16].

2.2.6 A importância da Contratação Bilateral no MIBEL

A liberalização, como mencionado nas secções anteriores, proporcionou aos agentes intervenientes no mercado de energia eléctrica, diga-se, produtores, retalhistas e consumidores finais, acesso a um contrato “feito à medida”, isto é, onde é possível interagir com a contraparte, podendo negociar os termos de contrato, como é feito em alguns modelos da contratação bilateral. Por forma a compreender a importância da modalidade de contratação bilateral em Portugal, foram recolhidos dados de Novembro 2009 e Outubro 2015 (último ano com boletim disponível), relativamente ao número de contratos e volumes de energia negociados no MIBEL.

De acordo com os dados retirados através dos boletins mensais das plataformas on-line [MIBEL](#), [REN](#) e [ERSE](#), relativamente aos meses Novembro de 2009 e Outubro de 2015, conclui-se que o volume de energia transaccionada em Portugal teve um crescimento de 57% em seis anos. Embora as percentagens da figura 2.8 (Portugal - Bilaterais Físicos) apresentem valores semelhantes, em rigor tanto em Espanha como em Portugal a transacção de energia proveniente deste tipo de negociação é superior em 2015 face ao ano de 2009. De notar que a maior fatia de negociação do mercado é feita no mercado diário.

■ Contratos Bilaterais Físicos:

- 2009 - 22% correspondem a 823 GWh da energia total negociada (3744 GWh);
- 2015 - 24% correspondem a 1566 GWh da energia total negociada (6526 GWh);

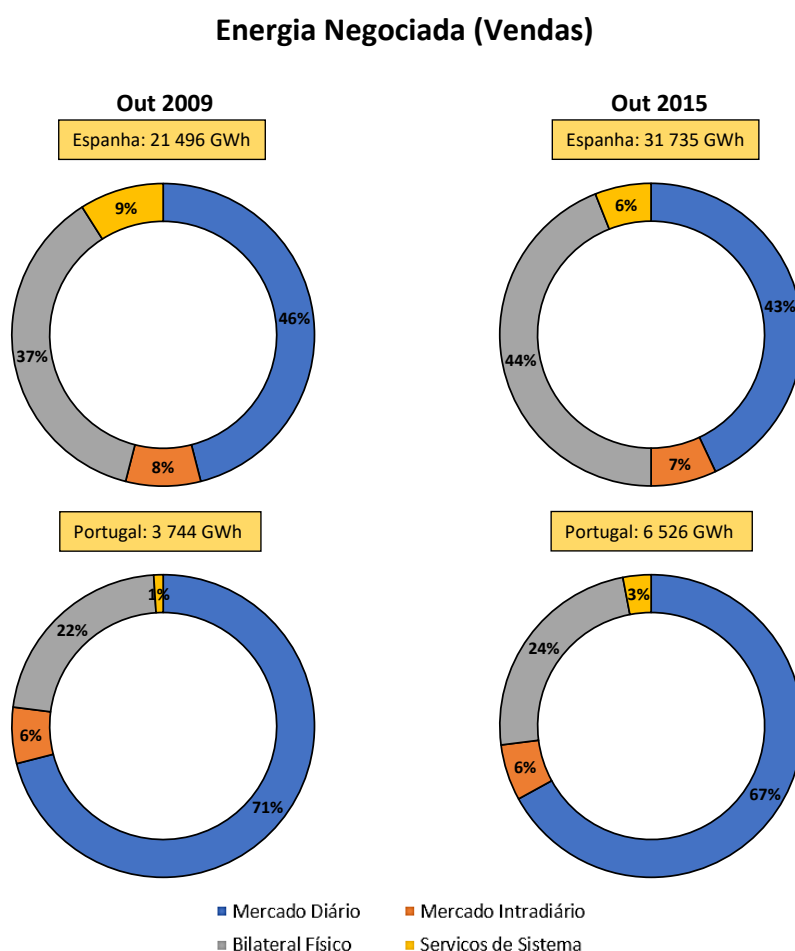


Figura 2.8: Comparativo de volumes de energia negociados em Portugal e Espanha nos meses de Novembro de 2009 e de Outubro de 2015.

No âmbito do [MIBEL](#), a contratação bilateral representou cerca de 41% do total de vendas do ano de 2009 em mercado organizado. Para o mês de Outubro de 2015, para o

volume de energia de 13 060 GWh, foram estabelecidos no MIBEL 46 325 contratos, em que 97% destes contratos bilaterais referem-se a produtos negociados em mercado não organizado ou em mercados de balcão OTC registados no OMIP, como ilustra a figura 2.9. A magnitude deste valor expressa a importância que os produtos derivados detêm no mercado. No entanto, importa também salientar que 74% deste valor refere-se a contratos OTC registados, representando 69% do volume de energia negociada.

Os valores acima expressam claramente a importância que este tipo de modelo de mercado tem vindo a assumir nos mercados de energia eléctrica do MIBEL, sendo uma solução capaz e competente para satisfazer os agentes contratantes de energia por esta via.

Mercado MIBEL (Portugal e Espanha)

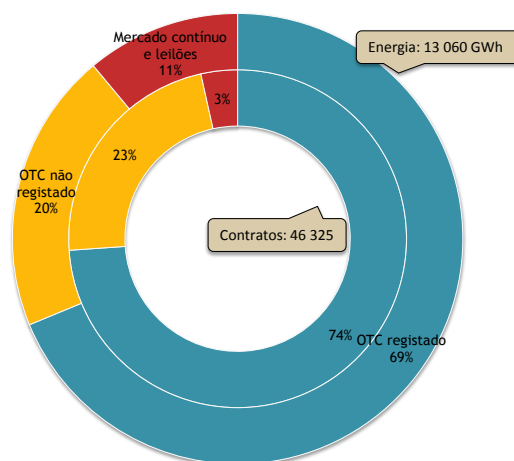


Figura 2.9: Quantidade de energia negociada e contratos elaborados no ano de 2015 [26].

SISTEMAS MULTI-AGENTE NOS MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

O presente capítulo apresenta noções gerais e algumas das competências essenciais que os Sistemas Multi-Agente ([SMA](#)) assumem no âmbito dos mercados de energia eléctrica. Serão descritos sucintamente os conceitos de Agente e sistemas [SMA](#), apresentando as principais particularidades relacionadas com a interação entre Agentes, dando especial atenção a negociação bilateral entre eles. Por fim, são destacadas as potencialidades da tecnologia baseada em agentes no contexto dos mercados de energia eléctrica, algumas das plataformas e as ferramentas de simulação baseadas na tecnologia Multi-Agente.

3.1 Sistemas Multi-Agente (SMA)

A crescente evolução tecnológica associada a liberalização do sector elétrico, conduziram a uma mudança de posição por parte dos intervenientes no mercado, dado que, com a desregulação do sector de energia eléctrica houve uma integração significativa de novas entidades participativas, tornando o mercado altamente competitivo e consequentemente imprevisível.

Esta mudança significou uma adaptação ou alteração de estratégias por parte das entidades integrantes e existentes em função da diversidade dos seus interesses, de modo a encontrar soluções de negociação mais vantajosas, por forma a maximizarem os seus lucros. Dado que o comportamento do mercado tornou-se totalmente distinto ao que anteriormente existia, houve a necessidade de implementar soluções computacionais de apoio á decisão que fornecessem uma previsão do mercado num futuro próximo.

A tecnologia [SMA](#), demonstrou ser capaz no que diz respeito à capacidade de compreender as múltiplas relações entre as várias entidades para um universo de problemas no mercado de energia eléctrica, isto é, relativamente à contratação bilateral descrita neste capítulo, os [SMA](#) são utilizados para recriação de um mercado de energia eléctrica, de modo a simular as relações de negociação existentes entre os agentes intervenientes de um mercado liberalizado, nomeadamente grossistas, retalhistas e/ou consumidores finais (cada um com os seus objectivos e estratégias de actuação distintas), sendo estes representados por Agentes Computacionais Autónomos que negociam contratos bilaterais entre si, afim de estabelecerem um acordo entre as partes [27].

3.2 Conceitos e Características: SMA e de Agentes Autónomos

Nesta secção serão descritas as definições e características de Sistema Multi-Agente ([SMA](#)) e de agentes computacionais autónomos.

3.2.1 Sistemas Multi-Agente

Caracterizam-se por sistemas comportados por múltiplos agentes, que apresentam um comportamento autónomo combinado com uma componente social inspirados no comportamento humano (têm como base a simulação de técnicas de inteligência artificial distribuída), interagindo entre si por forma a satisfazer um determinado problema e/ou atingirem determinados objectivos.

No processo de construção de um sistema de agentes, é essencial referir que é necessário conseguir gerir as interações e dependências dos diferentes agentes, visto que não possuem um objectivo comum, afim de evitar um conflito de interesses destes, através da

coordenação e negociação das suas actividades.

A coordenação de agentes assume um papel crucial no que diz respeito aos (SMA), visto que estes sistemas por natureza são inerentemente distribuídos. Pode-se dizer que existem dois grandes grupos de métodos de coordenação que correspondem, a metodologias aplicáveis a domínios que contêm, agentes competitivos, i.e, agentes com interesse único pelo o seu bem próprio e agentes cooperativos, i.e, agentes que compreendem o interesse global de um conjunto.

No sentido de modelar um mercado de energia eléctrica recorrendo à tecnologia de agentes, estabelecem-se duas componentes de bastante relevo como, as capacidades negociação e de argumentação, capacidades que desempenham uma papel vital na coordenação de agentes compostos por agentes competitivos, no entanto, em situações em que os agentes têm objectivos comuns, terá de se concentrar em metodologias cooperativas visto que a negociação e/ou argumentação não são técnicas de coordenação recomendáveis para atingirem um fim comum.

A interacção através de agentes cooperativos, permite executar decisões e tarefas em conjunto, de forma a poder satisfazer os seus objectivos, algo que é fundamental nos mercados de energia eléctrica e para tal é de extrema importância estabelecer uma plataforma de comunicação entre agentes computacionais, sendo indispensável assegurar uma determinada infraestrutura que possibilite comunicar resultados e conhecimento em cada instante [28].

3.2.2 Agentes Autónomos

Caracterizam-se na comunidade científica como um conceito controverso, dado que não existe uma definição única de agente. No entanto, poderá ser baseado numa definição simples utilizada por Pattie Maes, em que um agente é [29]:

“Um sistema computacional que habita um dado ambiente, sente e age nesse ambiente, e ao fazê-lo realiza um conjunto de objectivos ou tarefas para o qual foi projectado.”

O mercado de energia eléctrica atualmente usa este tipo de tecnologia baseada em agentes autónomos, tendo como base a capacidade de abordar problemas associados a uma componente social. Considera-se que este tipo de agentes possui os seguintes atributos [30]:

- Autonomia: os agentes atuam sem intervenção directa de humanos ou de outros agentes, atuação independente;

- Reactividade: os agentes compreendem o ambiente em que estão inseridos e adaptam-se rapidamente as alterações que nele ocorrem;
- Pró-Actividade: os agentes possuem um comportamento direccionado a objectivos, para além de se adaptarem a alterações de ambiente, agem de acordo com um propósito;
- Habilidade Social: os agentes têm a capacidade de interagir com outros agentes (e/ou possivelmente com humanos) através de uma dada linguagem de comunicação, visando concluir tarefas ou ajudar outros agentes.

Existem para além dos atributos *supra* mencionados, outros a ter em conta, tais como a capacidade de mobilidade, comunicação, cooperação e aprendizagem. Como referido na descrição de (SMA), um agente age de forma autónoma, independentemente do tipo de ambiente em que se insere, no sentido de executar as tarefas para um determinado objectivo.

Dada a complexidade do sistema em que os agentes estão inseridos, é útil dividir os agentes em classes distintas, de acordo com algumas propriedades que lhes são intrínsecas, nomeadamente a mobilidade, o relacionamento entre agentes, a capacidade de percepção e a memória. Os agentes poderão estar divididos em várias dimensões distintas, no entanto Nwana propôs uma tipologia que distingue sete dimensões [31]:

- Mobilidade: agentes estáticos ou móveis. Capacidade ou não de se deslocar na sua máquina de origem, como momentaneamente em outra máquina;
- Racionalidade: agentes deliberativos ou puramente reactivos. presença ou não de um modelo de raciocínio simbólico;
- Função do Agente: a função principal que cada tipo de agente representa, como por exemplo um agente de interface (facilita a relação de utilizador-máquina de uma determinada aplicação);
- Autonomia: grau de autonomia do agente;
- Cooperação: realização ou não de acções cooperativas com outros agentes;
- Aprendizagem: inclusão ou não de capacidades de aprendizagem no agente;
- Características Híbridas: combinação de duas ou mais filosofias diferentes no mesmo agente;

A tipologia *supra* citada, classifica todos os agentes que possuem atributos em comum. Para uma diferenciação clara dos principais agentes, Nwana [31], combinou as características de autonomia, cooperação e aprendizagem, no qual derivaram quatro tipos agentes: agentes colaborativos, agentes colaborativos com capacidade de aprendizagem, agentes de interface e agentes verdadeiramente inteligentes.

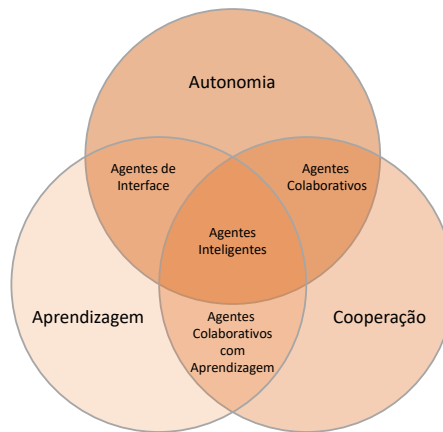


Figura 3.1: Classes de Agentes na perspectiva de Nwana [31].

3.3 Ambientes Multi-Agente

Nesta secção serão apresentadas e descritas de forma sucinta três das mais conhecidas plataformas baseadas em agentes, nomeadamente o *Open Agent Architecture* (OAA), *REcursive Porous Agent Simlutation Toolkit* (REPAST) e por último dar maior ênfase a *Java Agent DEvelopment Framework* (JADE), pelo simples facto de ter sido utilizada no desenvolvimento do simulador MAN-REM.

Open Agent Architecture

OAA é uma ferramenta de investigação para o desenvolvimento de SMA, desenvolvida no Centro de Inteligência Artificial de *Stanford Research Institute* (SRI), que utiliza linguagem *Interagent Communication Language* (ICL) para a construção de agentes e assegurar a prestação de serviços de software através da cooperação dos mesmos.

De notar que para a criação e desenvolvimento de agentes, a plataforma (OAA) fornece uma biblioteca disponível em várias linguagens de programação como, C, C++ e JAVA, no entanto para se proceder à análise e/ou consulta de dados, execução de acções e troca de informação foi implementada uma extensão em linguagem PROLOG na camada de conteúdo da (ICL). Perante a interoperabilidade dos vários subsistemas integrados na estrutura de agentes, existe um agente de servidor, designado de "*facilitator*", que assume a responsabilidade de coordenar a comunicação e a solução de cooperação de problemas de agentes e/ou utilizadores.

REcursive Porous Agent Simlutation Toolkit

REPAST trata-se de uma plataforma *open-source* de modelação de agentes desenvolvida pela *Social Science Research Computing* da Universidade de Chicago, que possibilita a realização de simulações em escalas de tempo (programadas) no sentido de observar o

desenvolvimento comportamental dos agentes, e dos ambientes onde operam. A principal característica é o acesso às simulações dinâmicas durante o tempo de execução através do uso de interface gráfica, permitindo visualizar em tempo real o comportamento dos agentes e o ambiente onde actuam.

Associado a esta plataforma, existem três vertentes adaptadas às linguagens de programação JAVA, .NET e PYTHON, sendo respectivamente designadas por RepastJ, Repast.NET e o RepastPY, contudo a implementação em linguagem JAVA evita problemas de memória em simulações pesadas, por isto é a mais utilizada. A estrutura robusta do [REPAST](#) foi desenhada para estudar o comportamento social mas não se resume apenas a aspectos sociais, sendo que actualmente é aplicada em análise industrial, sistemas evolutivos ou modelação de mercados (mercado de energia eléctrica).

Java Agent DEvelopment Framework

[JADE](#) trata-se do *middleware* mais difundido no desenvolvimento de aplicações baseada em Agentes implementada integralmente na linguagem JAVA, de acordo com as especificações da *Foundation for Intelligent Physical Agents* ([FIPA](#)). A motivação para os primeiros avanços desta plataforma surgem no final 1998, através da *Telecom Itália* e também pelo facto de ser necessário validar os critérios ([FIPA](#)).

O ambiente [JADE](#) por ser *open-source*, permite a um acesso considerável de utilizadores que contribuem activamente para a melhoria constante da plataforma. A sua configuração é controlada com recurso a uma interface gráfica, que suporta as fases de verificação e implementação. No desenvolvimento de Agentes, a plataforma reúne características especiais que permitem a mobilidade destes na execução de determinadas tarefas e na comunicação de forma transparente e versátil entre outros sistemas, escolhendo o melhor protocolo, sem que ocorram situações de conflito. As especificações FIPA para a interoperabilidade determinam que [\[13\]](#):

- Serviço de nomes: a designação de um agente (único) serve para indicar a sua localização;
- Serviço de páginas amarelas: é possível um agente procurar outros agentes através do serviço que disponibiliza;
- Aspectos Extra-Agente: todos os outros aspectos que não fazem parte do agente, independentes das aplicações, tais como o transporte, codificação, interpretação de mensagens e ciclo de vida do agente, devem-se encontrar devidamente especificados.

O ambiente JADE foi utilizado na presente dissertação, justamente pelo facto de ser baseada em agentes, facilitando o mecanismo de comunicação entre estes.

3.4 Simuladores Multi-Agente de Mercados de Energia Eléctrica

A liberalização do sector eléctrico tornou o mercado competitivo e deste modo todas as entidades participantes no mercado foram obrigadas a adoptar novos métodos de gestão afim de poderem sobreviver sob a nova regulamentação. As ferramentas de simulação baseadas em agentes assumiram assim um papel preponderante, uma vez que permitem representar o mercado e os seus agentes participantes de forma realista sendo possível fazer uma análise de todas estratégias e/ ou comportamentos destes.

Apresentam-se de seguida três simuladores multi-agente baseados nos ambientes descritos na secção 3.3: o *Multiagent System that Simulates Competitive Electricity Markets* (MASCEM), o *Electric Market Complex Adaptive System* (EMCAS) e o simulador no âmbito *Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets* (MAN-REM).

Multiagent System that Simulates Competitive Electricity Markets

O MASCEM foi desenvolvido pelo Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão (GECAD) do Instituto Superior de Engenharia do Porto e trata-se de um simulador multi-agente implementado através da plataforma (OAA), com recurso à linguagem de programação JAVA.

Em perspectiva, desde a sua primeira versão (2003), que o MASCEM foi concebido com intuito de estudar os complexos e reestruturados mercados de energia eléctrica. Ao longo dos últimos 15 anos, o MASCEM tem vindo a sofrer actualizações sucessivas impedindo que o simulador se torne obsoleto tendo em conta as mutações que os diferentes tipos de mercado vão sendo alvo. Assim, com este esforço o simulador mantém a sua relevância no apoio á tomada de decisão em escalas de tempo e em diferentes tipos de mercado, tais como o mercado em bolsa e a contratação bilateral [32].

Importa referir que a variável temporal assume uma papel de destaque entre os agentes participantes no mercado, tais como, produtores, consumidores, retalhistas, operador de mercado, operador de sistema e um agente *facilitator* de mercado, uma vez que as simulações ocorrem com recurso a diferentes estratégias de licitação, que podem ser adaptadas no decorrer da simulação consoante o comportamento dos participantes no mercado e do mercado em si. O agente *facilitator* admite no mercado todos os agentes

que se registarem especificando o sua função e monitoriza e coordena todo o mercado garantindo o funcionamento correcto.

A modelação de agentes no simulador [MASCHEM](#) é feita através de técnicas de teoria dos jogos, *machine learning* e análise de cenário tendo em consideração as tomadas decisão por parte dos agentes inseridos no mercado em bolsa ou na decisão de aceitar ou não acordos bilaterais [33]. Além das sofisticadas técnicas de Inteligência Artificial na modelação do mercado, existem características importantes que o simulador têm, como uma abordagem flexível dado que interage num universo de modelos de mercado diferentes e no balanço entre as questões técnicas e económicas.

Electric Market Complex Adaptive System

O [EMCAS](#) foi desenvolvido pelo *Argonne National Laboratory* e consiste num simulador Multi-Agente criado a partir da plataforma [REPAST](#). Este simulador tem uma arquitectura multi-camada (camada física, de negociação mercado *Pool*, de contratos bilaterais e de transporte e distribuição) considerado como poderoso em simulação baseado em agentes, contribuiu de forma significativa para a compreensão do mercado energia eléctrica após a reestruturação do mesmo, dado que comporta capacidades reforçadas na tomada de decisão descentralizada[34].

A tradicional tomada de decisão, diga-se, com tomador “único” é então substituída por uma série de entidades independentes que assumem a decisão, cada uma com seus próprios objectivos e estratégias de negócios, preferências de risco e modelos de decisão sendo que o seu sucesso não depende apenas de si, mas também das decisões dos restantes agentes participantes podendo adaptarem-se em função de um comportamento destes no mercado.

Face à interação multi-agente, o [EMCAS](#), tem um leque de entidades participantes distintas como: agentes produtores, de transporte, de distribuição, operadores de mercado, de transmissão, consumidores e reguladores de mercado. Estes agentes executam diversas tarefas considerando um grande número de regras específicas, podendo criar novas estratégias, testá-las e analisar que consequências poderão ocorrer no mercado real[34].

As camadas de interação fornecem o ambiente para os agentes operarem entre si. Consequentemente, os agentes moldam o seu comportamento mediante tudo o que envolve o ambiente em que estão inseridos. Para além da capacidade de adaptação que os agentes têm, estes, exibem duas propriedades que faz deles especializados, a capacidade de tomada de decisão alicerçada permanentemente ao preços praticados, isto é, a informação disponível relativamente a outros agentes participantes no mercado (pública ou

3.4. SIMULADORES MULTI-AGENTE DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

privada) e ao próprio mercado beneficia as opções tomada e no modo de aprendizagem baseado em observação através do desempenho passado.

Actualmente, o simulador permite recriar três tipos de mercados: bolsa (*Pool*), de contratos bilaterais e serviços de sistema. No mercado em bolsa, os agentes poderão estabelecer várias propostas de venda e/ou de aquisição de energia eléctrica, numa bolsa regulada por um operador de sistema independente (ISO), sendo este o agente que difere o **EMCAS** de outros simuladores. No mercado de contratos bilaterais são estabelecidos entre um agente produtor e um agente que possua uma oferta de aquisição de energia, normalmente comercializadores. Importa referir que este simulador é muito utilizado pelo sector eléctrico, sendo frequentemente usado pela **REN** para análise do **MIBEL**[34].

Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets

O **MAN-REM** foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (**LNEG**) e trata-se de um simulador multi-agente concebido a partir da linguagem de programação **JAVA** tendo por base, a plataforma (**JADE**) e o protocolo **FIPA**. Na realidade, o **MAN-REM** é um complemento às capacidades que o simulador **MASCHEM** detêm, convertendo-se numa estrutura multifacetada, completa e avançada para estudar os complexos mercados de energia eléctrica [35].

Atualmente, o **MAN-REM** é capaz de criar um modelo *Pool* do mercado de energia eléctrica, tanto nos mercados diários como intra-diários apoiados sobre dois mecanismos, o *Locational Marginal Pricing* e *System Marginal Price* assegurando uma análise pormenorizada do mercado diário e do mercado de ajustes, permite também, a simulação entre dois intervenientes do mercado, através de contratos bilaterais (*Forward* e de Futuros) e na gestão de riscos entre eles.

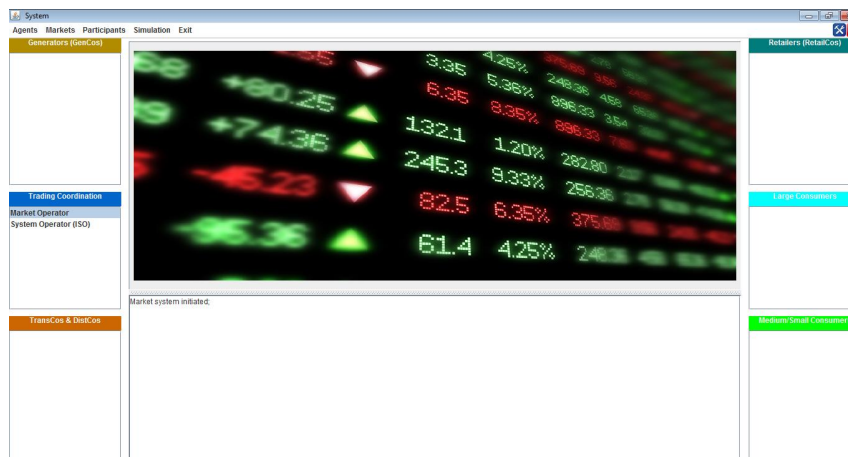


Figura 3.2: Interface Gráfica do MAN-REM

A figura 3.2 apresenta o simulador que foi utilizado na presente dissertação, com vista a simular um contrato bilateral com gestão dinâmica de preços e volumes.

O utilizador do **MAN-REM** terá de estar munido de alguns conhecimentos relacionados com os modelos de mercados negociados no **MIBEL**, de modo a executar os procedimentos necessários para obter os objectivos pretendidos. É necessário modelar os agentes intervenientes, grossistas (*GenCos*), retalhistas (*RetailCos*) ou consumidores finais (*Consumers*), qual o modelo de mercado a ser criado e qual o algoritmo de cálculo de preços.

FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL NOS MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

No presente capítulo é descrito o crescimento dos últimos dez anos das fontes de energia renovável no panorama mundial e em Portugal, com maior foco na energia eólica e realçando quais as suas metas e objectivos para um horizonte temporal futuro. De seguida, é apresentado o conceito de previsão e os métodos ou modelos que podem prever o comportamento da energia eólica. Por fim, é realizado um levantamento sintetizado do impacto que a energia eólica têm nos mercados de energia, tanto na rede como nos preços do [MIBEL](#).

4.1 Fontes de Energia Renovável no Século XXI

Nas últimas décadas a produção de energia através de fontes renováveis, têm vindo a crescer significativamente, dado que existe entre a comunidade mundial uma preocupação da escassez dos recursos fósseis e da necessidade de redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera estabelecidas pelo Protocolo de Quioto e adoptadas pela União Europeia que, para além de representarem custos elevados, dão origem a catástrofes ambientais e provocam alterações climáticas.

A directiva estabelecida no Parlamento Europeu, n.º 2001/77/CE, posteriormente alterada em 2009 (actual directiva n.º 2009/28/CE), determinou que seria importante a promoção de energia eléctrica produzida a partir de fontes de energia renováveis dado que o sector eléctrico revelava-se insustentável. Esta medida prioritária tornou-se ainda mais significativa quando em 19 de Outubro de 2006, através do "Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial", fixou-se metas para 2020.

As principais metas para 2020 seguem um padrão de "crescimento inteligente, sustentável e inclusivo como forma de superar as deficiências estruturais da economia europeia", e apresentam elementos chave para assegurar uma economia social de mercado sustentável. Os objectivos a cumprir que têm influência no sector da energia eléctrica são os seguintes elementos chave:

- reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990;
- aumentar para 20% a parte da energia proveniente de fontes renováveis;
- aumentar em 20% a eficiência energética;

Conhecidas as metas, a exploração deste tipo de fontes foi impulsionada por vários factores que reforçaram e reforçarão a médio e longo prazo pontos essenciais como a protecção ambiental, a competitividade dos custos das tecnologias renováveis, tal como acesso a financiamento, a segurança do abastecimento energético, a crescente procura de energia nas economias em desenvolvimento e a necessidade de acesso a energia moderna protegendo a coesão social e económica [36].

A energia eléctrica obtida através de fontes renováveis são geralmente definidas como sendo derivada de qualquer fonte de energia que é de certa forma reabastecida em escalas de tempo de dias a décadas. A energia eléctrica proveniente de fontes renováveis pode derivar directamente do sol, como a energia térmica, fotoeléctrica ou fotoquímica ou indirectamente, como a energia hidroeléctrica, eólica, biomassa, ou através de processos presentes na natureza como a energia geotérmica e das marés.

Na geração de energia eléctrica através de energia renovável há uma preocupação recorrente, dado que todas as fontes contam com uma característica de variabilidade do seu comportamento, sendo que umas têm maior intermitência que outras, como é o caso da energia eólica.

Reconhece-se que com a constante evolução no desenvolvimento das tecnologias de geração de energia através de fontes renováveis, os custos destas em relação aos custos das tecnologias convencionais têm vindo a aproximar-se. Com o peso acrescido perante tais metas, o sector de energia eléctrica tem vindo sucessivamente a ser reestruturado podendo actualmente oferecer serviços de energia sustentável de forma a fornecer eletricidade, soluções de transporte, aquecimento e refrigeração.

4.1.1 Evolução das Fontes de Energias Renováveis no Mundo

O processo de integração no sector eléctrico mundial de fontes renováveis em maior expansão como a energia solar e eólica mostrou-se moroso em relação a energia hidroeléctrica, dado que no século XIX já eram utilizadas turbinas eficientes através da utilização da água para produção de energia eléctrica. Ao longo do século XX, com os avanços tecnológicos e posteriormente com desregulação do sector eléctrico mundial, estes tipos de fontes renováveis gozaram de um crescimento a todos os níveis irrepreensível até à data.

Perante o sucesso da integração das energias renováveis como fonte geradora de energia nos mercados de electricidade, é expectável que com as metas europeias, o avanço da tecnologia e consciencialização global, haja um crescimento promissor nos próximos anos. Segundo a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), nos últimos 10 anos houve um crescimento da capacidade total instalada a nível mundial para mais do dobro, precisamente 113,8%.

Neste mesmo período, das três tecnologias com maior peso no panorama mundial de energias renováveis, hídrica, solar e eólica, é notório que a hídrica cresceu de forma menos acentuada, cerca de 40%, uma vez que a sua utilização está a estagnar devido aos recursos hídricos.

No caso das tecnologias mais recentes de geração de electricidade, energia eólica e solar, o aumento foi bastante acentuado representado na figura 4.1, cerca de 6,4 e 45,5 vezes respectivamente, num total de 9,6 vezes atendendo aos últimos 10 anos.

O aproveitamento de energias renováveis até 2004 era dominado pelos Estados Unidos da América, Japão e a maior parte dos países do Continente Europeu, visto que foram os pioneiros a implementar e a quem pertencia a maior fatia da capacidade instalada face a outros países. Após esse ano, houve um investimento bastante ousado da China que

CAPÍTULO 4. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL NOS MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

contava com uma instalação de cerca de 103 GW e que actualmente tem mais de 300 GW instalados em relação a esse ano, sendo o país com maior crescimento da tecnologia renovável hoje em dia [38].

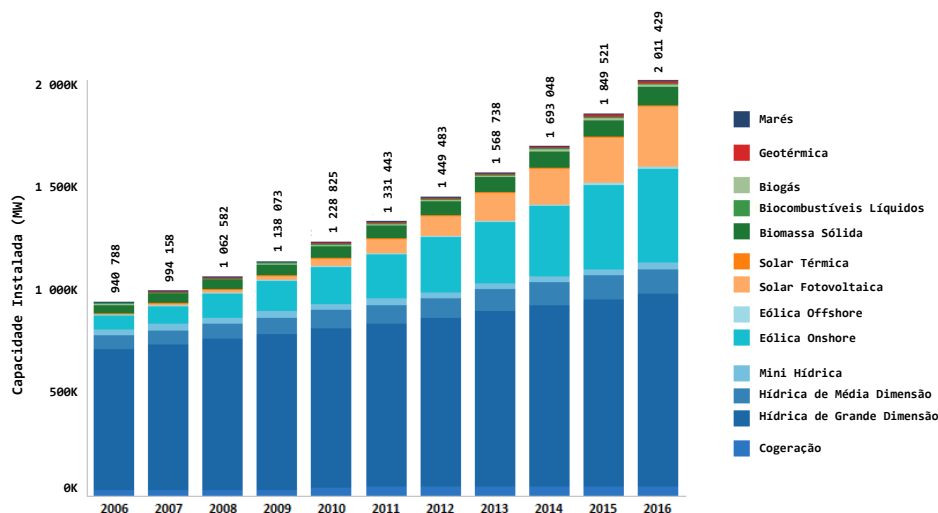


Figura 4.1: Capacidade total instalada no mundo de produção renovável (retirado IRENA).

Conforme a figura 4.2, é possível observar que a energia eólica é a líder na capacidade instalada, que em grande parte é devido às contribuições da China com 374 GW instalados, dos estados membros da União Europeia (EU28) e dos Estados Unidos da América. É importante referir que em 10 anos (2006-2016) houve um total de adições em energia eólica a rondar os 395 GW. A energia solar apresenta uma capacidade instalada de 282 GW, aproximando-se a passos largos da hídrica (que estagnou) e que representa 319 GW da capacidade mundial.

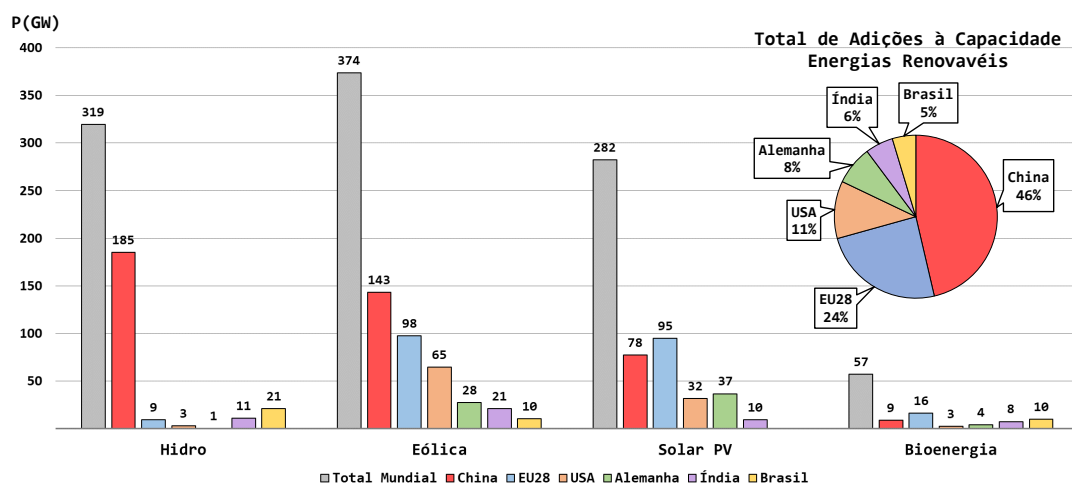


Figura 4.2: TOP 5 Mundial de total de adições à potência instalada renovável (adaptada IRENA)

O ano de 2015 mostrou a maior adição à capacidade global até ao momento e hoje as energias de fontes renováveis já são consideradas como "convencionais". É relevante referir que no mesmo ano, a produção de energia renovável atingiu os 19,2% do consumo global, no entanto, nos 2 últimos anos esta situação não se tem alterado mesmo com as elevadas taxas de crescimento em função da necessidade de consumo que tem aumentado proporcionalmente.

4.2 Evolução das Fontes de Energias Renováveis em Portugal

Em Portugal Continental, o processo de integração das fontes renováveis no sector de energia eléctrica, surgiu em 1988 quando o Estado Português sugeriu a ideia de abrir aos privados a produção de electricidade a partir destas fontes. Esta ideia consciente manteve-se em todos os governos até à data, visto que o sector de energia passa forçosamente por energia eléctrica proveniente de fontes renováveis.

Desde a entrada no novo milénio até o ano de 2016 houve um aumento de 170,5% na potência instalada em energias de fonte renovável, sendo que as duas vias que estão em maior expansão em Portugal são, a eólica e a solar. Importa referir que a potência instalada proveniente do vento entre 1988 e 2000, teve um crescimento lento, tendo sido incrementada entre todos estes anos de forma suave até cerca de 50 MW e só a partir de 2007 se começou a ter alguma dependência do aproveitamento de energia solar, como se pode observar na figura 4.3.

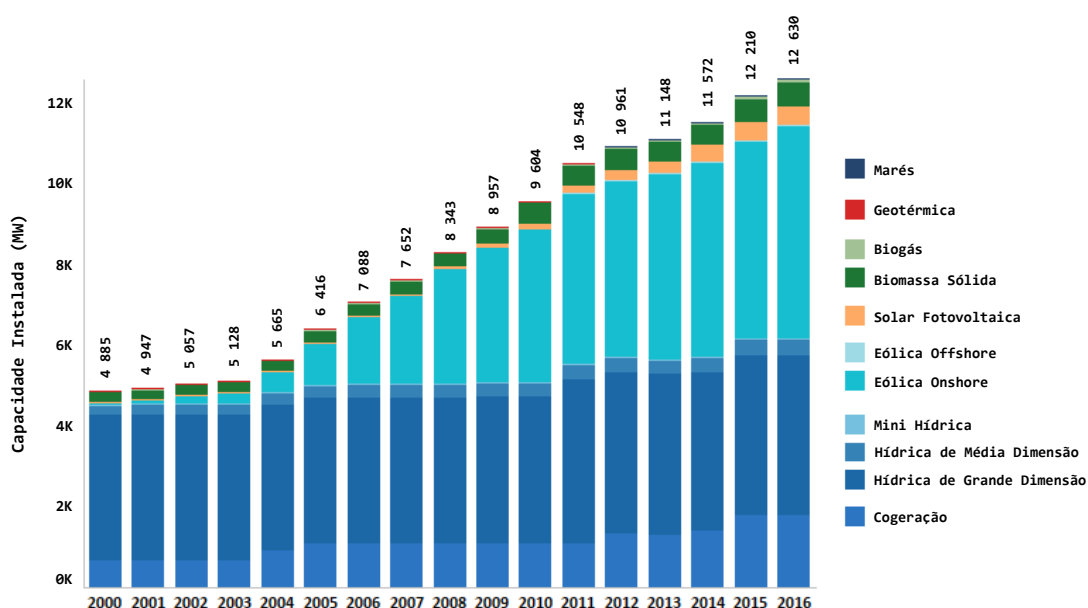


Figura 4.3: Total de adições à potência instalada renovável em Portugal (adaptada IRENA).

Quanto à energia eólica, entre 2006 e 2016, teve um comportamento exponencial no que diz respeito à adição de potência instalada da mesma, ultrapassando os 5 GW instalados, apresentando-se como a tecnologia com maior crescimento de capacidade em Portugal. Importa referir que nos últimos 4 anos a taxa de adição à potência instalada estagnou. Outra nota também importante a salientar, é o facto de a potência instalada de energia eólica em Portugal ser *Onshore*.

Nesta área das renováveis, Portugal tem justificado inteiramente a aposta nas fontes de energia renovável, indo ao encontro das Metas 2020. Segundo dados da [REN](#), a produção de energia renovável excedeu o consumo em Portugal em Março de 2018, isto é, a energia de origem renovável produzida foi de 4 812 GWh ultrapassando o consumo de Portugal Continental 4 647 GWh, destacando a hídrica e a eólica, que são responsáveis por 55% e 42% das necessidades de consumo, respectivamente, assinalando um marco histórico no Sector Eléctrico Português [39].

4.3 Energia Eólica nos Mercados de Energia Eléctrica

Como referido em secções anteriores, o forte investimento neste tipo de fonte tem sido relevante no ponto de vista ambiental, social e económico. Os pontos principais na utilização destas fontes passa por exemplo pela redução das emissões de gases, acesso fácil ao auto-consumo e estabilização dos preços e/ou redução de custos de produção. Embora ambas as fontes de energia renovável tragam mais vantagens do que desvantagens para a rede eléctrica, existe o problema de não ser possível controlar algumas delas, a solar e neste caso a energia eólica, uma vez que é impossível controlar o fluxo do vento, impedindo que contribuição para a rede não seja da mesma forma que fontes fósseis.

Em Portugal, o conceito de produção em regime especial [PRE](#), tem criado apoios atractivos (remunerações) para a entrada de novos agentes produtores no mercado, que consequentemente provocam um aumento substancial na integração de energia no diagrama de produção. Esta afluência à rede implicam nos mercados de energia ajustes do seu funcionamento através do Operador de Sistema ([OS](#)).

Nos mercados de energia eléctrica do [MIBEL](#), a questão da intermitência é vista actualmente como um obstáculo ultrapassável na negociação de energia eléctrica, no entanto, é necessário prever o seu comportamento e a potência a ser gerada num determinado horizonte temporal futuro. No *mix* energético, a previsão de energia eólica é de facto importante pois pela forte penetração que tem na rede, é extremamente necessário assegurar o balanço entre oferta e procura (produção e consumo) e assim compensar todas as flutuações tanto de produção como de preços.

4.3.1 A Previsão de Energia Eólica

O conceito de previsão é extremamente utilizado nos mercados de energia eléctrica, com especial atenção no estudo do comportamento das energias de fonte renovável cuja produção será entregue num determinado horizonte temporal. A energia eólica, relativamente a outras fontes é a que possui maiores desvios ou incertezas e por isso é impossível de a controlar devido à sua volatilidade e intermitência.

Com a incerteza associada, é necessário prever a curto, médio ou longo prazo o comportamento do vento e da potência a ser injetada na rede pelos parques eólicos existentes. A previsão da energia eólica deriva de diversas técnicas de otimização, de modo a ter o melhor proveito do recurso existente, garantindo a segurança de toda a rede e a qualidade no serviço de fornecimento, dado que poderá haver uma possível ausência da penetração de eólica (estimação de reserva).

As principais técnicas para avaliação das fontes com incerteza podem ser divididas em três segmentos [40]:

- tratar-se de uma variável meteorológica (neste caso o campo de vento) for seleccionada através do NWP (*Numerical Weather Prediction*);
- através da seleção dos campos de vento a 10 metros de altura ou se o nível de pressão necessite ser corrigido para a altura do cubo das turbinas do parque eólico;
- trata-se da seleção de curva, visto que o tipo de turbina poderá ter curvas de potência diferentes;

De notar que existem características espaciais que influenciam os desvios, aumentando o grau de incerteza, tais como: a localização geográfica e área do parque eólico e o número e localização das turbinas no parque eólico.

Os instrumentos utilizados para a previsão de produção de energia são essenciais no apoio ao planeamento e à gestão da rede, de modo a permitir por um lado a otimização da operação do sistema elétrico e por outro garantindo a segurança no abastecimento, dado que o recurso vento apresenta uma característica variável. De seguida são apresentados alguns modelos associados à previsão de energia eólica:

- *Global System Forecast* - este modelo reúne informação 4 vezes por dia através de análise a várias estações meteorológicas, para horizonte temporal futuro até 16 dias.
- *MM5(Weather Model)* - é usado para previsões do tempo e projeções climatéricas, através do acompanhamento no terreno para replicar ou prever a circulação atmosférica (alterações climáticas);

4.3.2 Impacto da Energia Eólica no Preço de Mercado

A electricidade é um bem que não é possível armazenar em grandes quantidades, de tal forma que a produção em regime especial do [MIBEL](#) tem prioridade de acesso à rede nacional de transporte energia ou à rede de distribuição, garantindo a venda total da mesma. Para trazer novos investidores ao mercado em FER, criou-se uma tarifa subsidiária designada por *feed-in* (FiT)¹, em que a remuneração aos produtores é feita de acordo com a tecnologia em questão, segundo o decreto lei nº 189/88, de 27 de Maio.

Na perspectiva da [REN](#), é expectável que derivado à elevada capacidade instalada eólica existente no [MIBEL](#), a produção eólica, independentemente, terá um impacto na determinação do preço da eletricidade transacionada, devido à competitividade que os custos inerentes à produção têm quando comparados com outras tecnologias, renováveis ou não renováveis.

Para efetuar uma análise ao impacto que a energia eólica tem no preço do mercado foram considerados os preços e a produção total do ano de 2017 negociados em Portugal. Os dados horários de produção eólica foram obtidos a partir da plataforma virtual de estatísticas de produção da [REN](#).

No ano de 2017, os preços médios dos períodos horários são os seguintes:

- Preço Médio Ponta: 56,10 €/MWh;
- Preço Médio Cheias: 54,12 €/MWh;
- Preço Médio Vazio: 46,44 €/MWh;

Na figura 4.4 é possível observar preço (€/MWh) em função do volume de produção eólica (MWh) para uma dada hora incluída nos períodos ponta, cheias e vazio. Ao proceder ao estudo separadamente, isto é, ponta, cheias e vazio, dado que nestes determinados períodos a fracção de produção eólica à produção total no *mix* é de facto discrepante. De notar que nas horas de vazio, a percentagem de produção eólica no *mix* tem tendência a apresentar valores mais altos.

Para compreender melhor esta diferença verifica-se na figura 4.4 que para cada ponto percentual adicional de produção de eólica relativamente à produção total do mix, o preço sofre uma variação média descendente seguinte:

- **Ponta:** 28,81 cêntimos;
- **Cheias:** 27,85 cêntimos;

¹ *Feed-in-Tariffs* é um instrumento de política energética e ambiental utilizada pelo governo como incentivo ao investimento nas energias renováveis para a produção de energia eléctrica

4.3. ENERGIA EÓLICA NOS MERCADOS DE ENERGIA ELÉCTRICA

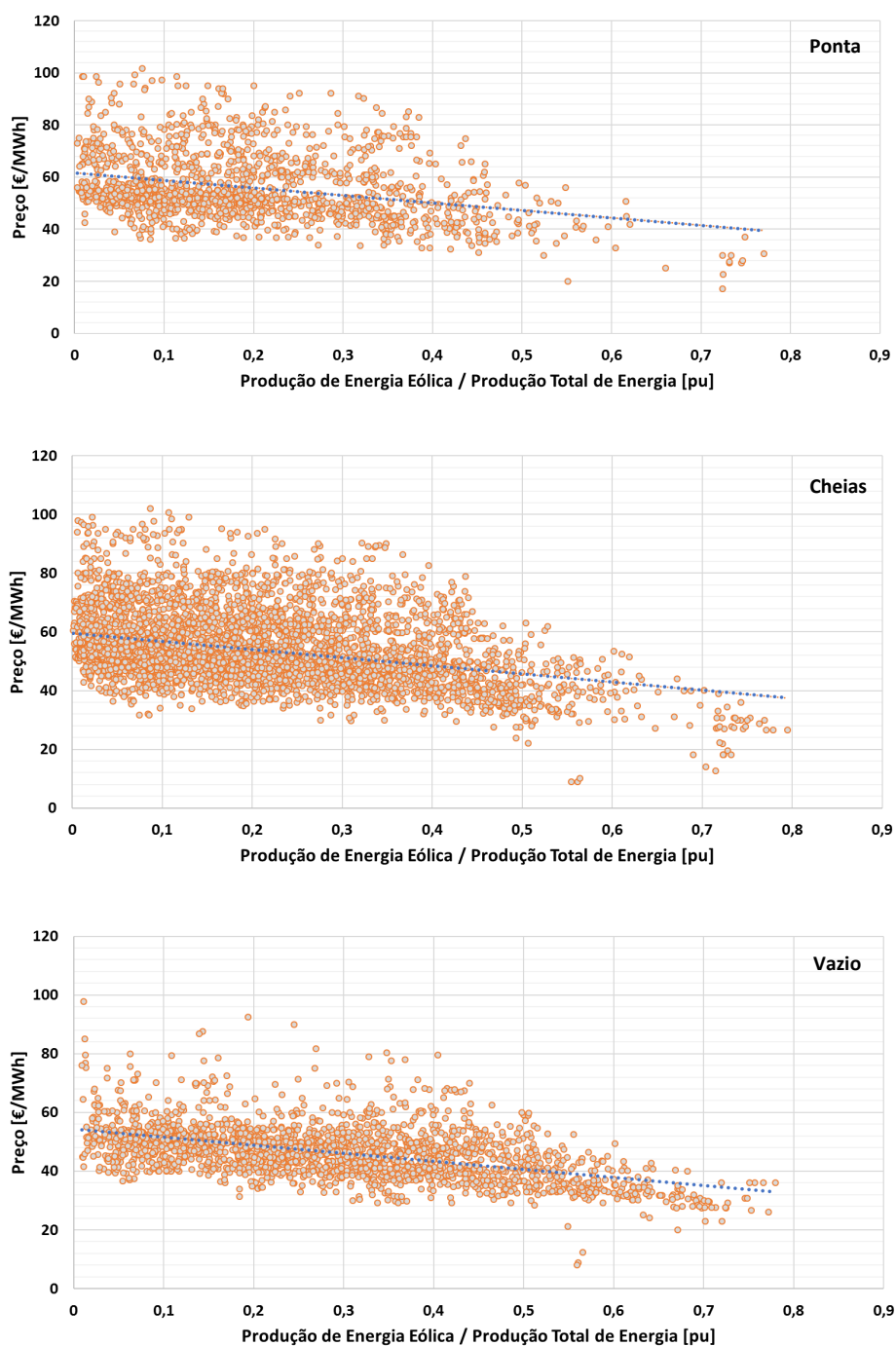


Figura 4.4: Preço de energia negociado em bolsa em função da fração de produção de energia eólica relativamente à produção total no mix nos períodos de ponta, cheias e vazio por hora

- **Vazio:** 27,63 cêntimos;

Pese embora a variação média dos preços em ponta seja maior, este valor quando comparado com o preço médio do período horário é mais elevado no vazio.

$$\text{Espectro Variação do Preço} = \frac{\Delta \text{Preço}(1\%)}{\text{Preço Médio}} * 100[\%] \quad (4.3.1)$$

Ponta:

$$\text{Espectro Variação do Preço} = \frac{0,288}{56,1} * 100 = 51,3\% \quad (4.3.2)$$

Cheias:

$$\text{Espectro Variação do Preço} = \frac{0,2765}{54,12} * 100 = 51,5\% \quad (4.3.3)$$

Vazio:

$$\text{Espectro Variação do Preço} = \frac{0,276}{46,44} * 100 = 59,4\% \quad (4.3.4)$$

A expressão da figura 4.3.1, verifica o impacto da variação do preço por ponto percentual ($\Delta \text{Preço}(1\%)$) face ao preço médio. A equação 4.3.4 indica que o preço de mercado sofre maior impacto no período horário vazio. Por forma a validar todos os elementos associados ao impacto no preço, foi elaborado para todas as horas do ano os seguintes gráficos:

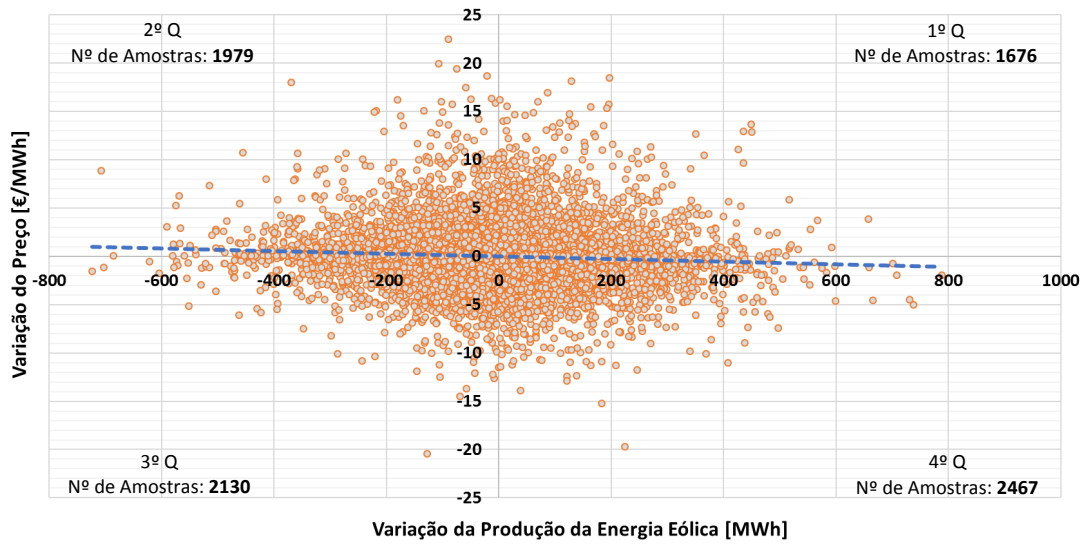


Figura 4.5: Variação do preço em função da variação da produção de energia eólica.

A figura 4.5 representa a variação do preço de mercado negociado para horas consecutivas ($\text{Preço}_{\text{Hora}_{n-1}} - \text{Preço}_{\text{Hora}_n}$) durante o ano de 2017, em função da variação do volume de produção de energia eólica. Esperar-se-ia, segundo [4], que o estudo da figura reflectisse uma tendência mais acentuada com uma relação inversa entre as grandezas descritas, ou seja, não é possível extrair qualquer conclusão.

No entanto conclui-se, que apesar da ligeira inclinação verificada pela linha de tendência vir corroborar estas afirmações, que uma grande variação do volume injectado na rede não reflete necessariamente grandes oscilações do preço de mercado. Destaque-se, ainda assim o número de amostras do quarto quadrante. Por inspecção dos resultados, reconhece-se em 60% das amostras que uma variação de produção de energia eólica se faz acompanhar de uma variação nos preços em sentido inverso.

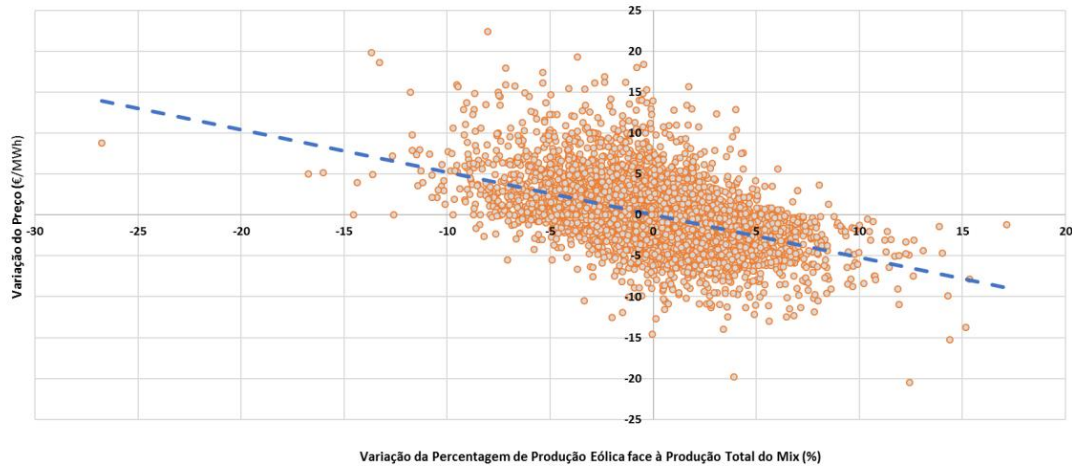


Figura 4.6: Variação do preço em função da variação de percentagem de produção de energia eólica relativamente à produção total do *mix*.

Avaliando a figura 4.6, torna-se pertinente o estudo da variação percentual da produção relativamente à hora $n-1$ em que no eixo do abcissas é apresentado valores do tipo:

$$\frac{\text{VolumeEolica}_n}{\text{VolumeTotalMix}_n} - \frac{\text{VolumeEolica}_{n-1}}{\text{VolumeTotalMix}_{n-1}} \quad (4.3.5)$$

em que este valor é a percentagem de eólica produzida no momento em relação ao *mix*. O eixo das ordenadas traduz a variação percentual do preço de mercado entre instantes amostrados consecutivos. $PM_n - PM_{n-1}$.

Desta maneira torna-se possível identificar de forma inequívoca a relação inversa inerente às grandezas preço e volume de energia eólica. Mais se conclui, que a oscilação do preço depende de forma mais veemente, do aumento ou diminuição percentual de produção de energia eólica relativamente à produção total que se faz sentir em todo o *mix* e não necessariamente na variação da grandeza volume de produção eólica.

NEGOCIAÇÃO BILATERAL DE ENERGIA EÓLICA: GESTÃO DINÂMICA DE PREÇOS E VOLUMES

O presente capítulo expõe todo processo da negociação bilateral, caracterizando todos os aspectos presentes na relação entre os agentes intervenientes, produtores (*GenCos*) e retalhistas (*retailers*) no seio do Mercado Livre (ML) de energia eléctrica. Após uma breve introdução acerca do modelo inicialmente criado por Correia [4], serão apresentados os elementos mais relevantes do processo de negociação, incluindo o modelo adoptado e as suas estratégias e por fim a metodologia utilizada para a extensão do modelo criado por Correia [4] através de uma Negociação Bilateral com Gestão Dinâmica de Preços e Volumes.

5.1 Contratos com Gestão Dinâmica de Preços e Volumes

Dada a enorme complexidade e imprevisibilidade na evolução diária do mercado, face à forte penetração da produção de energia proveniente fontes renováveis e a consequente influencia directa nos preços de mercado, o modelo criado por Correia[4], visa compreender a tomada de decisão por parte dos intervenientes (produtor de energia eólica e retalhista) que celebrem um acordo bilateral, em vez de licitarem no mercado em bolsa.

Neste caso em específico, a intermitência que a potência a ser gerada tem devido à variabilidade do recurso (eólica), tornou a ideia que um acordo bilateral possa de certa forma, conciliar as necessidades energéticas de um agente retalhista com a produção de um agente produtor através da gestão dinâmica de preços e volumes com o desenvolvimento do algoritmo por Correia [4]. Com efeito, o produtor beneficia com o facto de poder vender a energia a um preço competitivo (lucro menor, caso se licitasse em bolsa) enquanto que o retalhista poderá adquirir energia eléctrica normalmente a preços significativamente mais baixos que os praticados no mercado.

Os elementos de negociação, preço e volume, são particularmente importantes quando se trata de mercados de energia, no ponto de vista do produtor eólico, o preço é um elemento que propicia a maximização dos seus possíveis ganhos, já para o agente retalhista, a gestão de volumes em função do preço do produtor, influência directamente a recompensa ganha por este (lucro ou despesa), uma vez que o risco associado recaí sobre ele mesmo.

5.1.1 Considerações Gerais

Intervalos de Volumes de Energia

O modelo de gestão dinâmica de Preços e Volumes desenvolvido por Correia [4] apresenta os seguintes critérios para formação de intervalos de distribuição de volumes:

- Tarifa Tri-Horária (Cheia, Ponta e Vazio);
- Três intervalos de Volume;

Os intervalos foram formados em função da produção efectiva do produtor num determinado horizonte temporal. Através das horas a que cada período (Cheia, Ponta e Vazio) corresponde no diagrama de carga, estas foram ordenadas respectivamente de forma crescente obtendo a curva monótona de potência do produtor. Os volumes limite são definidos através do histórico de produção máxima e mínima que o produtor dispõe, ou seja, as extremidades da curva, como se pode observar na figura 5.1 e em [4].

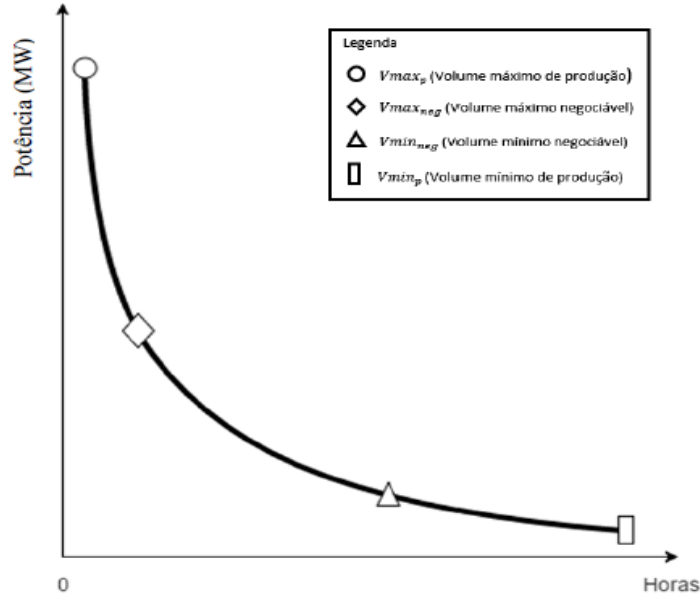


Figura 5.1: Exemplo de uma curva monótona de potência de um determinado produtor [4].

Deste modo, com base na figura 5.1, é importante referir que existe duas zonas (intervalo de volumes) em que a curva aproxima-se da linearidade, isto é, "zona onde geralmente corresponde a uma maior probabilidade de produção da central". Assim, os intervalos de volume estão definidos entre as seguintes condições:

$$V_{min_p} < V_{p_i} < V_{min_{neg}} \quad (5.1.1)$$

$$V_{min_{neg}} < V_{p_i} < V_{max_{neg}} \quad (5.1.2)$$

$$V_{max_{neg}} < V_{p_i} < V_{max_p} \quad (5.1.3)$$

Formação de Preços para os Intervalos de Volume de Energia

A formação dos preços limite por parte do produtor, dita em parte a permanência ou não durante a negociação bilateral e por forma a maximizar os lucros ou minimizar o prejuízo associado, é necessário que o produtor tenha em consideração certos elementos tais como, o preço de referência de mercado, preço de produção e os custos relativos a manutenção e operação.

O modelo apresentado consiste num conjunto de três preços limite, tendo por base o volume de produção. Durante a negociação e dependendo da estratégia usada pelo o produtor, caso uma proposta conduza a uma utilidade abaixo da utilidade de um dado preço limite, o produtor abandona a negociação. Os preços foram definidos através das

seguintes expressões matemáticas:

$$P_{lim_i} = \begin{cases} \frac{C_{OM} \cdot V_p + \Delta V \cdot P_{pool}}{V_{min_p}} & \text{se } V_{p_i} < V_{min_{neg}} \\ P_{fixo} & \text{se } V_{min_{neg}} \leq V_{p_i} \leq V_{max_{neg}} \\ 0,95 \cdot P_{fixo} & \text{se } V_{p_i} > V_{max_{neg}} \end{cases} \quad (5.1.4)$$

sendo que:

- i) C_{OM} representa os custos de operação e manutenção;
- ii) P_{fixo} é o preço de produção;
- iii) P_{pool} é o preço transaccionado em mercado em bolsa;
- iv) V_p é o volume de produção gerado aleatoriamente;
- v) V_{min_p} é o volume mínimo de produção;
- vi) ΔV representa a variação entre V_{min_p} e V_{p_i} .

De notar que as expressões da equação parcial 5.1.4, validam alguns elementos associados à produção de energia eólica como por exemplo o tipo de tecnologia que o produtor possui. Dado que estes custos costumam ser geralmente baixos, o retalhista beneficia com o valor que será oferecido na primeira expressão (P_{lim_1}), uma vez que, será sempre inferior ao preço de mercado em bolsa.

O (P_{lim_2}) representado na segunda expressão é um preço fixo, que implicitamente contém variantes que necessitam de avaliação tais como: modelo da tecnologia usada, do critério e da estratégia que agente produtor (*GenCos*) adotar. Nesta situação, o preço deverá aproximar-se do valor do mercado em bolsa, o que beneficiará o produtor (aproximado do preço ideal) e o retalhista, caso faça um bom acordo bilateral (boa estratégia de negociação).

Na formação do preço limite (P_{lim_3}) da última expressão, a recompensa do produtor poderá ser ligeiramente mais baixa em relação ao preço de mercado e as outras duas condições, no entanto possibilita ao retalhista adquirir energia eléctrica a um preço mais baixo do que em mercado em bolsa e consequentemente beneficiar com o a venda de energia.

Estratégias de Negociação

A estratégia de concessão utilizada por Correia [4] define a pretensão que cada agente tem durante o período negocial. Estas negociam o acordo até encontrar o fim pretendido

ao longo da negociação. Os factores de concessão que cada agente interveniente define, determina se está disposto a ceder mais ou menos no preço da energia.

- I - **Factor de Concessão Alto** - o agente está disposto a ceder perante o seu oponente, priorizando a celebração do contrato, tendo desta forma uma maior probabilidade de sucesso
- II - **Factor de Concessão Baixo** - o agente prioriza os seus interesses, tornando-o assim mais rígido durante a negociação e diminuindo as probabilidades de celebração de um contrato.

$$C_f(V_{p_i}) = \begin{cases} 0 & \text{se } V_{p_i} < V_{min_{neg}} \\ K1 + (1 - K1) \cdot \frac{(V_p)^{\frac{1}{\beta}}}{V_{max_p}} & \text{se } V_{min_{neg}} \leq V_{p_i} \leq V_{max_{neg}} \\ 0.1 & \text{se } V_{p_i} > V_{max_{neg}} \end{cases} \quad (5.1.5)$$

Avaliando as expressões:

- I - a primeira expressão depende do volume produzido e caso seja inferior ao $V_{min_{neg}}$, o produtor adopta uma postura conservadora, optando por não ceder no valor do preço;
- **Nota:** Caso haja acordo bilateral, o produtor poderá entrar em prejuízo, devido ao incumprimento na produção, obrigando este a procurar uma solução para que isso não se suceda.
- II - a segunda expressão depende do valor de β (valor que determina a convexidade da função que representa o fator de concessão), caso o valor de β seja superior a 1, o produtor demonstra um comportamento concesso, inferior a 1, demonstra ser pouco concesso, segundo P. Farantin [41];
- III - a terceira expressão revela que o produtor tem uma taxa de concessão atractiva, aliciando o retalhista com preços competitivos para a compra de energia.

Atendendo que o presente documento teve manifesto apoio do trabalho realizado por Correia [4], a última secção deste capítulo irá expor um novo modelo de contratação bilateral com gestão dinâmica de preços e volumes, com outro tipo de abordagem para a formação de preços e volumes e também nas criteriosas estratégias utilizadas por ambos os intervenientes para a negociação.

5.2 Negociação de Contrato Bilaterais

A negociação bilateral consiste fundamentalmente num processo de tomada de decisão partilhada entre duas partes negociadoras, em que ambas as partes definem mutuamente determinados termos e condições, sejam estes o volume, o preço, a data e o local de entrega do bem, cujo pagamento ou prestação só serão efetuados num horizonte temporal relativamente próximo [28].

A negociação de um bem define-se principalmente por um processo que visa a resolução de conflitos criados pela divergência de interesses, envolvendo habitualmente uma discussão iterativa entre as entidades contratantes, dos termos e das condições que inicialmente são pré-definidos, com o propósito de se alcançar um acordo, idealmente benéfico para todos os seus participantes. De notar que, o número de elementos participativos numa negociação é ilimitado, tendo esta a designação de negociação bilateral quando envolve apenas duas partes [7].

Importa referir que na presente dissertação durante o período negocial existe várias trocas de propostas e contrapropostas antes de se chegar a um acordo (através do protocolo de ofertas alternadas) entre o agente produtor (eólica) e o retalhista (entidade de referência no sector) apresentando previamente as suas propostas iniciais.

De seguida será realizado sucintamente um enquadramento do processo típico de uma negociação bilateral, onde será tido em conta um determinado conjunto de elementos, podendo ser divididos em três fases clássicas, a primeira consiste no planeamento e a preparação da negociação, onde são identificados os itens prioritários a serem negociados, a segunda trata-se da selecção do protocolo de negociação adoptado por ambos os agentes e por último e não menos importante, é escolha de uma estratégia adequada para a negociação.

5.2.1 Processo de Negociação

Tendo presente o conceito de negociação bilateral, é pertinente identificar todo o processo de negociação mediante os termos e condições para tal, sendo de realçar a determinação do período de contração, e os preços e volumes de energia eléctrica.

Em primeiro lugar, é importante identificar da melhor forma os itens a negociar, de tal forma que existe um conjunto de procedimentos numa negociação que devem estabelecidos e cumpridos.

As três etapas são ordenadas sequencialmente, começando no estudo da preparação e no planeamento desenvolvido pelos agentes contratantes, através da qual se definem

os seus objectivos, limites e posições iniciais, seguida de uma etapa de resolução de incompatibilidades, caracterizada pela interacção entre os agentes e, por último, uma etapa final, onde é implementado o acordo, caso este tenha sido alcançado [13, 27].

De notar que uma das etapas consiste num período de interacções, que se caracteriza por um grupo dominante de procedimentos comunicativos. Os modelos baseados em etapas são úteis na medida em que acabam por fornecerem uma tradução da narrativa que é tida no processo de negociação. Isto significa que a sequência de eventos que constitui uma negociação poderá ser documentada, podendo ser posteriormente analisada com maior rigor [7, 13]. O encadeamento genérico das etapas referidas acima passa fundamentalmente pelos seguintes processos [7, 27]:

- Pré-Negociação;
- Negociação;
- Resolução de impasses/conflitos;
- Renegociação.

Os processos de pré-negociação e negociação assumem um papel determinante na construção de um possível acordo. Estes procedimentos acabam por ser os elementos chave que visam o sucesso da negociação entre as partes. De notar que o processo de pré-negociação envolve a formulação de um plano perfeitamente estruturado. Este plano poderá ser descrito através das seguintes actividades [7, 27]:

- Identificação dos itens de negociação presentes na agenda negocial;
- Atribuição de prioridades aos itens de negociação;
- Determinação de limites e objectivos negociais;
- Definição de um protocolo de negociação adequado;
- Selecção de uma estratégia de negociação.

Por forma a serem definidos os itens que serão discutidos, cada negociador, em qualquer tipo de negociação, deverá reunir uma lista detalhada desses mesmos itens, começando pelos prioritários. De seguida, cada negociador deverá reunir todos os itens que foram definidos numa lista global.

"A junção das listas de todos os negociadores determina normalmente a agenda negocial. Posteriormente, deverão ser estabelecidas as prioridades e os pesos de cada item de negociação, por forma a possibilitar uma hierarquização dos itens que constam na agenda negocial, e deverá ser tido também em conta se estes possuem ou não alguma

dependência entre si [13]."

Existem ainda dois elementos essenciais que devem ser tidos em conta para cada item de negociação, definidos entre os agentes contratantes, por forma a garantir uma preparação e um planeamento de negociação eficazes. Estes elementos são os seguintes [28]:

- O Ponto de Resistência ou Limite: este ponto traduz-se num limite, a partir do qual cada agente negociador decide parar a negociação (ao contrário de a continuar), uma vez que, qualquer possível acordo estabelecido para além do limite não trará benefício para o agente negociador;
- O Ponto Alvo: trata-se do ponto em que cada agente negociador espera, na realidade, alcançar um acordo, que produzirá verdadeiramente algum benefício da negociação decorrente.

Mediante os objectivos individuais de cada agente contratante, a selecção destes pontos acaba por se tornar um aspecto fundamental para o sucesso da negociação, na medida em que definem o intervalo onde se estabelece uma linha de negociação possível entre as partes. O protocolo adoptado na presente dissertação será o de ofertas alternadas, em que os agentes contratantes disputam entre si, com trocas de propostas e contrapropostas, com o propósito de atingirem um acordo lucrativo. De notar, que caso não seja possível alcançar um acordo entre as partes, poder-se-á afirmar que os agentes chegaram a uma situação de impasse (que poderá ser resolvido por um novo acordo).

O processo de renegociação aborda a análise e as melhorias a implementar a um acordo minimamente aceitável. Tem-se que, muitas vezes, os negociadores são várias vezes confrontados com situações complexas de conflito onde acabam por aceitar resultados pouco benéficos. No entanto, a identificação de um acordo minimamente aceitável não significa necessariamente que o acordo seja eficiente, o que poderá levar a que os negociadores tenham a possibilidade de reabrir alguns contratos e tentar iniciar uma nova negociação [7, 27].

5.2.2 Modelo de Negociação Bilateral

A presente secção descreve de forma resumida os principais aspectos do modelo de negociação desenvolvido por Lopes et al. [5, 6] e estendido por Lopes e Coelho [7, 8] e Lopes et al. [9, 10], que por sua vez será estendido na secção seguinte.

Seja $A = \{a_1, a_2\}$ o conjunto de agentes autónomos que participam na negociação e seja a agenda da respectiva negociação, $\text{Agenda} = \{x_1, \dots, x_k\}$, que representa o conjunto de

itens onde a negociação incidirá, em que cada item representa uma variável quantitativa definida por um intervalo contínuo, $D_n = [\min_n; \max_n]$. O preço limite de cada negociador, para cada um dos itens da agenda de negociação, x_k , será representado por \lim_k .

Os negociadores determinam a alocação dos itens ao trocarem alternadamente propostas nos períodos de tempo $T = \{1, 2, \dots, N\}$. Isto significa que apenas uma proposta será submetida em cada período $t \in T$, com o agente a_1 a enviar as suas propostas nos períodos ímpares $\{1, 3, \dots, N-1\}$ e o agente a_2 nos períodos pares $\{2, 4, \dots, N\}$. De notar, que os agentes possuem a possibilidade de abandonar unilateralmente a negociação, como resposta a uma proposta do agente oponente.

O processo de negociação inicia-se com o agente a_1 a submeter uma proposta $p_{1 \rightarrow 2}^1$ para a_2 no período $T = 1$.

O agente a_2 receberá $p_{1 \rightarrow 2}^1$ e poderá optar por uma de três hipóteses de acção:

- Aceitar a proposta recebida;
- Rejeitar e abandonar a negociação;
- Rejeitar e continuar a negociar, submetendo uma contraproposta.

Nos primeiros dois casos, a negociação terminará. Se $p_{1 \rightarrow 2}^1$ for aceite, a negociação terminará e o acordo será implementado. De notar, que caso a proposta $p_{1 \rightarrow 2}^1$ seja rejeitada e o agente contratante a_2 decidir abandonar, então a negociação será terminada sem que haja um acordo. Se ocorrer o último caso, a negociação seguirá para o período $t = 2$, no qual o agente a_2 enviará a contraproposta $p_{2 \rightarrow 1}^2$.

Este processo é então repetido. A partir do instante em que se estabelece um acordo, proceder-se-á à alocação dos itens de negociação. De notar, que o protocolo de negociação obedece às normas padrão da FIPA (referenciadas no capítulo anterior). Ademais, importa referir que cada proposta é um vector de itens de negociação, enviado por um agente $a_i \in A$ para um agente $a_j \in A$, no período $t \in T$, assumindo a seguinte forma:

$$p_{i \rightarrow j}^t = (v_1, \dots, v_k) \quad (5.2.1)$$

em que o elemento v_k , com $k = 1, \dots, n$, representa o valor do item de negociação $x_k \in Agenda$.

A decisão de aceitar ou não uma proposta dependerá da avaliação executada pelo agente contratante, mediante as suas preferências, no que diz respeito aos itens de negociação. Para cada item x_k , os agentes atribuem um peso w_k , sendo este um valor numérico que representa a preferência do agente relativamente a x_k . Cada agente recorrerá a uma

função de utilidade contínua por forma a executar a avaliação das ofertas. No caso do modelo aditivo, esta função assume a seguinte forma:

$$U_i(x_1, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n w_k \cdot V_k(x_k) \quad (5.2.2)$$

De notar que o valor individual (peso individual) que cada agente atribui a cada um dos itens de negociação é dado pelo resultado da função de utilidade marginal $V_k(x_k)$.

A avaliação de uma oferta será feita recorrendo ao modelo aditivo da equação 5.2.2, onde cada agente contratante procederá à operação de adição dos valores atribuídos a todos os itens, tendo como elemento de ponderação o seu peso relativo. Assim, a aceitação de uma possível oferta recebida ocorrerá somente quando a utilidade associada a essa mesma oferta for superior à utilidade da oferta que um agente contratante esteja pronto a submeter.

5.2.3 Estratégias de Negociação Bilateral

As estratégias de negociação assumem cada vez mais um papel fundamental na celebração de um contrato bilateral, em mercados financeiros ou em outro domínio. Essencialmente, estas estratégias permitem os agentes definirem as suas metas, por forma a alinhar uma solução com os seus objectivos distintos.

Essencialmente, uma estratégia de negociação permite determinar o modo como os agentes contratantes preparam e/ou aceitam um determinado número de propostas e contrapropostas ou, no caso extremo, abandonam a negociação. Em rigor, uma estratégia poderá ser definida como um conjunto de acções que define o comportamento que um agente poderá assumir para cada evento que surge durante o processo da negociação em que se encontra inserido [28].

Existem três tipos fundamentais de estratégias de negociação, sendo estes os seguintes [7, 27]:

- **Estratégias de Concessão:** os agentes que optam por estas estratégias reduzem, parcial ou totalmente, as suas pretensões, por forma a adaptarem-se às pretensões do seu agente oponente;
- **Estratégias de Resolução de Problemas:** os agentes que recorrem a este tipo de estratégias procuram manter as suas aspirações e tentam conciliá-las com as do seu oponente, de maneira a que seja possível obter, para ambos, o melhor/maior benefício;

- **Estratégias Competitivas:** são estratégias em que uma das partes obriga a outra a ceder. As táticas que implementam esta estratégia incluem tipicamente "ameaças" e compromissos.

O sucesso na negociação bilateral passa pela seleção de uma estratégia. Não obstante, numa negociação e nas diferentes fases que a caracterizam, os agentes não têm de estar dependentes de uma única estratégia. Estes podem adotar diferentes estratégias ao longo do processo negocial. As estratégias utilizadas na presente dissertação são basicamente estratégias de concessão (compromisso e baixa concessão), modeladas através de funções que suportam diferentes padrões de concessão durante a negociação. Em particular, consideram-se as seguintes estratégias:

- Iniciar alto e conceder lentamente: os agentes adotam uma posição otimista efetuando concessões pequenas ao longo da negociação;
- Iniciar razoável e conceder moderadamente: os agentes adotam uma posição realista efetuando concessões substanciais durante a negociação.

5.3 Negociação através de Gestão Dinâmica de Preços e Volumes (Novo Modelo)

O acordo bilateral com gestão dinâmica de preços e volumes consiste numa extensão do contrato desenvolvido por Correia [4], mas dotado de outros aspectos que poderão beneficiar ambos os agentes (produtor e retalhista), justamente por captar um conjunto de particularidades que acrescentam valor no apoio de tomada a decisão durante a negociação.

Na realidade, o potencial sucesso de um acordo deste tipo firmado entre as partes está intimamente relacionado com o tipo de eventos que poderão ser considerados incertos e dependentes que ocorrem durante os termos contratuais (preço), por parte do produtor eólico (intermitência da fonte), representando desta forma riscos económicos para ambos os agentes.

Esta extensão do modelo, como em todos os outros modelos de contratação bilateral, independentemente da melhor estratégia de negociação utilizada pelos agentes contratantes, estes somente saberão se realmente celebraram ou não um mau acordo após uma análise exaustiva, após o contrato ter sido firmado entre as partes. Para a análise do novo modelo ambas as partes terão tido em consideração os seguintes itens para a posterior avaliação do contrato:

- Ano de Previsão (2009);
- Parque Eólico de Portugal Continental com potência instalada de 250MW;

- Retalhista - Entidade de referência do sector de energia eléctrica.

De notar que foi escolhido o ano de previsão de 2009, dado que foram os únicos dados reais disponibilizados. O parque eólico de Portugal Continental com potência instalada de 250 MW é referente ao mesmo ano.

5.3.1 Definição dos Volumes de Energia

A energia proveniente de fonte renovável como dito em secções anteriores, goza de uma característica especial, a intermitência, que consequentemente torna o espectro de potência gerada de um determinado produtor variável ao longo do seu histórico. Com base no histórico, o produtor prevê a curto e longo prazo a potência que poderá gerar através de métodos de previsão.

Tendo em consideração que a presente dissertação têm como interveniente um único produtor eólico, este, fornece ao agente retalhista, o espectro de potência para que este defina num conjunto de intervalos de volume que necessita de comprar. É importante referir que todo este processo é inerente ao processo de contratação bilateral e de extrema importância para um acordo justo entre as contrapartes.

Tal como Correia [4], inicialmente foi elaborada a curva monótona (perfil de potências em função das horas), esta curva, permite determinar o espectro de produção do produtor eólico, permitindo saber o número de horas de funcionamento a uma determinada potência.

Metodologia e Modelo

Nesta nova abordagem, considera-se para a gestão de volumes, três, quatro e cinco intervalos, perfazendo três tipos de contratos diferentes que poderão ter reflexo no preço final do contrato em função do intervalo em que estão inseridos. Deste modo, com o auxílio da ferramenta MATLAB, gerou-se a curva de produção do produtor através de um estudo elaborado pelo o retalhista.

Durante o processo de desenvolvimento do pré caso de estudo, recorreu-se a uma aproximação dos gráficos (curvas monótonas de potência - para o ano de 2009) de forma linear, isto é, através de linhas de tendência gerou-se um mesmo gráfico para três, quatro e cinco intervalos de modo a ser forçado os valores de horas para o “corte” respectivo em volume. Seguidamente existiu a preocupação para desenvolver um modelo de modo a que houvesse coerência na definição dos “cortes” para definição dos intervalos, para tal, os pontos designados por *break points* foram definidos através de um código da ferramenta

5.3. NEGOCIAÇÃO ATRAVÉS DE GESTÃO DINÂMICA DE PREÇOS E VOLUMES (NOVO MODELO)

MATLAB.

O modelo criado é apresentado na figura 5.2, em que ilustra, modo funcionamento para a obter os “*break points*” no espectro de produção do produtor eólico.

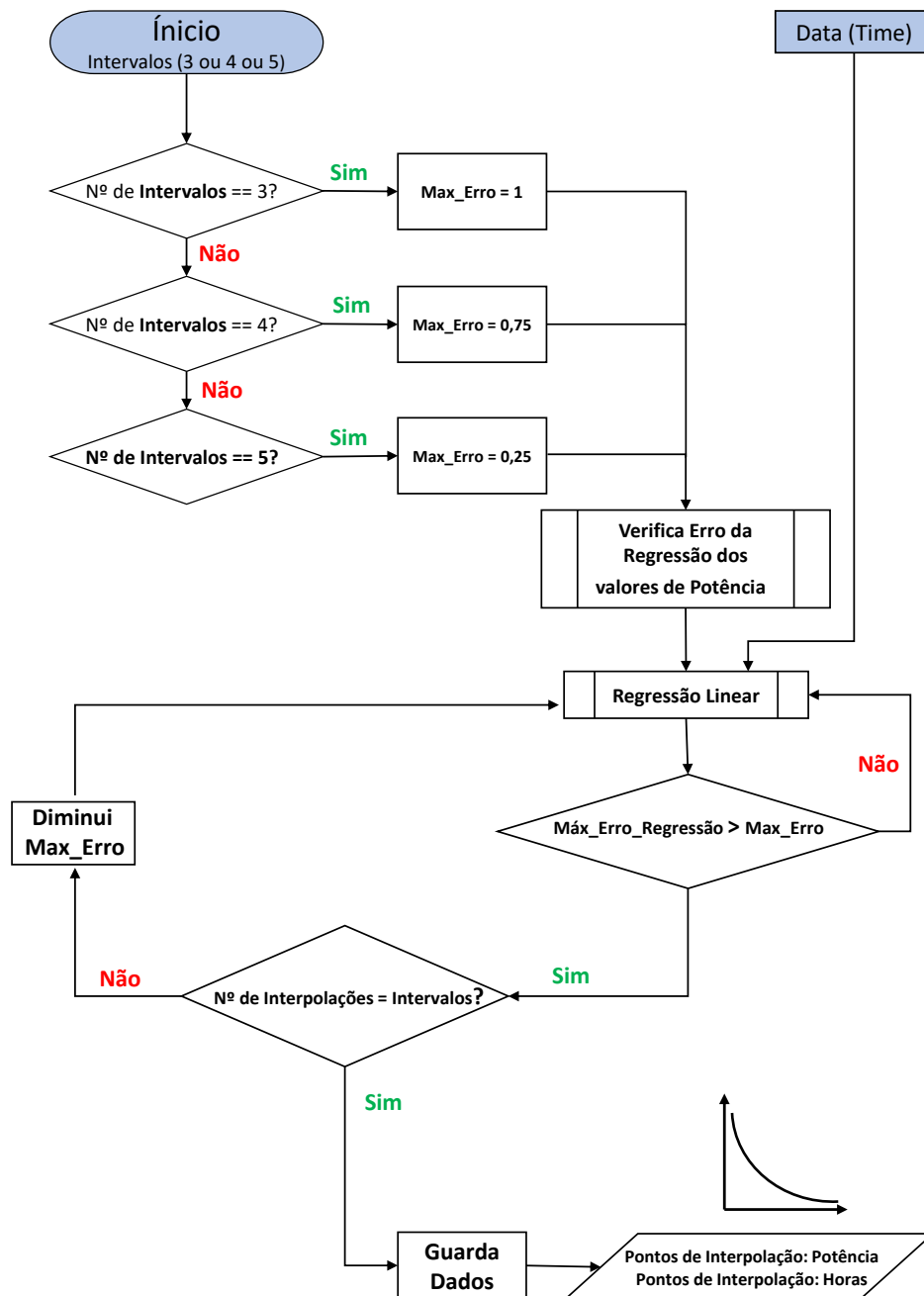


Figura 5.2: Diagrama de blocos da arquitectura interna do código que forma os intervalos.

Para melhor compreender o método utilizado, é descrito em seguida de forma breve, o modo de funcionamento da arquitectura.

- **Pré-Inicialização:** Carrega o volume da produção anual do produtor, através de um

ficheiro *.xls*. Este ficheiro contém as 8760 horas (365 dias do ano de 2009), sendo que estas estão ordenadas da hora 0 à hora 23, do dia 1 de Janeiro ao dia 31 de Dezembro. Após ordenar de forma decrescente os volumes (correspondendo a uma determinada quantidade horas a uma determina potência);

- **Ínicio:** O processo de segmentação do espectro potência do produtor surge mediante a inserção de qual será o escalonamento do espectro n_{int} , ou seja, $n_{int} = \{3, 4, 5\}$. Verifica qual n_{int} seleccionado e seguidamente decrementa o valor de **Max_Erro** até se atingir valor de erro (erro mínimo) que é possível obter com o número de intervalos (nº pontos de interpolação) pretendido;
- **Rotina:** À medida a que **Max_Erro** diminui, o número de intervalos terá tendência a aumentar, a partir do momento que o número de intervalos resultante da interpolação é maior que o número de intervalos pretendido, quer dizer que na iteração anterior se obteve a regressão linear que satisfaz o número de intervalos pretendido e ao mesmo tempo com o menor erro possível. Verifica **Max_Erro** com o erro da regressão linear nos valores de potência. Importa referir que, admite-se um erro se esse for atingido antes do tratamento de dados chegar até ao final do ano. Deste modo diminui-se o **Max_Erro**, efectuando novamente a rotina (em ciclo).
- **Fim de processo:** O gráfico extraído após o desenvolvimento de todo o processo é definido através de linhas de tendências com troços lineares ("*break points*", ilustrado como exemplo na figura 5.3;

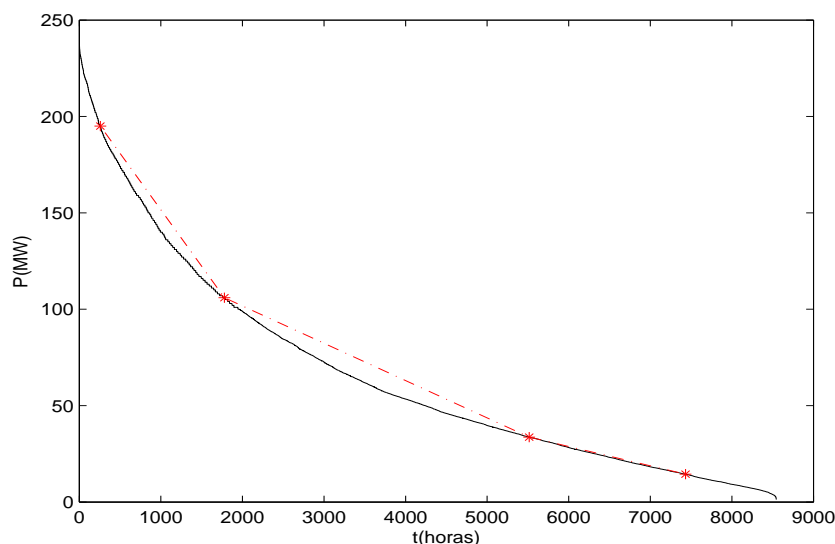


Figura 5.3: Exemplo de curva monótna para intervalos igual a 3.

Notas Principais a retirar do método:

- I - Quanto menor o nº de pontos de interpolação (intervalos) maior o erro.

5.3. NEGOCIAÇÃO ATRAVÉS DE GESTÃO DINÂMICA DE PREÇOS E VOLUMES (NOVO MODELO)

II - n_{int} é equivalente ao menor erro correspondente ao número de pontos de interpolação;

Mediante a realização do código acima descrito, este, apresenta um conceito criterioso e de suporte ao apoio á decisão, dado que é expectável que este novo modelo apresente melhorias face ao modelo de Correia [4] no fim do acordo bilateral. No entanto, é importante assegurar que este tipo de contrato expressa de certa forma, o nível de compromisso que o produtor/consumidor poderá garantir através dos escalões de volumes pretendidos.

5.3.2 Definição de Preços Limite

A definição dos preços limite para agentes intervenientes no acordo bilateral, seja produtor eólico ou consumidor final é vista como um item chave na negociação, permitindo saber até que ponto estes podem permanecer na negociação sem incorrer em prejuízo face ao mercado em bolsa. Neste modelo, para a formação dos preços limite, identifica-se os seguintes elementos necessários:

I - Agente Produtor (*GenCos*) (P_{peMIN})¹

- Volume de previsão do produtor V_{prev} ;
- Volume real do produtor V_{real} ;
- Diferença entre o volume real e a previsão $V_{real} - V_{prev}$;
- Preço de mercado por MWh P_{merc} ;
- Preço dos desvios (excesso ou defeito) P_{desv} ;

II - Retalhista (*Retailer*) (P_{rMAX})²

- Volume de energia pretendido (oferta) V_{ofer} ;
- Volume do desvio por unidade de geração e consumo (excesso ou defeito) V_{desv} ;
- Diferença entre a oferta e o desvio (Consumo total) $Cons_{tot}$;
- Preço de mercado por MWh P_{merc} ;
- Preço dos desvios por MWh P_{desv} ;

Formulando o que está acima descrito em expressões matemáticas:

$$\begin{aligned} & \text{Preço Limite Mínimo do Produtor} - P_{peMIN} \\ P_{peMIN} &= \frac{\sum (V_{prev} \cdot P_{merc} + (V_{real} - V_{prev}) \cdot P_{desv})}{\sum V_{real}} \end{aligned} \quad (5.3.1)$$

¹ P_{peMIN} é o preço mínimo negociável por parte do produtor eólico.

² P_{rMAX} é o preço máximo negociável por parte do retalhista.

Preço Limite Máximo do Retalhista - $P_{cf_{MAX}}$

$$P_{r_{MAX}} = \frac{\sum (V_{ofer} \cdot P_{merc} + V_{desv} \cdot P_{desv})}{\sum Cons_{tot}} \quad (5.3.2)$$

De notar que os preços acima referidos, são usados para qualquer um dos métodos, três, quatro ou cinco intervalos, no entanto, os preços limite têm uma ligação com os períodos horários em que foram validados. Para definir o período horário correspondente a cada intervalo, utilizou-se como método a média do preço de mercado para o mesmo intervalo. Deste modo com o auxílio da ferramenta de cálculo EXCEL, para o modelo negociação bilateral sugerido é gerado três, quatro ou cinco preços limites dependendo do respectivo número de intervalos definido.

Tabela 5.1: Definição de horas para Intervalos N=3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intervalo 1 Intervalo 2 Intervalo 3

Tabela 5.2: Definição de horas para Intervalos N=4

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intervalo 1 Intervalo 2 Intervalo 3 Intervalo 4

Tabela 5.3: Definição de horas para Intervalos N=5

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intervalo 1 Intervalo 2 Intervalo 3 Intervalo 4 Intervalo 5

Diga-se que para gerar os valores dos preços limites através das formulas 5.3.1 e 5.3.1, são considerados elementos reais do ano de 2009 e que do ponto de vista do negociador antevê os seus ganhos ou percas com dados do mesmo ano (antecipa o futuro com dados reais e não com previsões).

Caso uma proposta de uma parte conduza a um valor abaixo do pretendido pela outra parte de um dado preço limite, qualquer que seja o agente, abandona a negociação.

NEGOCIAÇÃO BILATERAL DE ENERGIA EÓLICA COM GESTÃO DINÂMICA DE PREÇOS E VOLUMES: CASO PRÁTICO

O presente capítulo descreve o estudo de um caso prático com três cenários distintos que envolvem o modelo de negociação descrito no capítulo anterior, permitindo demonstrar a sua empregabilidade em um caso real. Após uma contextualização das estratégias de negociação que compõe o simulador [MAN-REM](#), apresenta-se posteriormente pressupostos teóricos relativos aos três cenários em estudo referentes à negociação bilateral de energia eléctrica. Por fim, o capítulo apresenta os resultados experimentais, seguindo-se uma discussão detalhada desses mesmos resultados, por forma a demonstrar o desempenho do modelo desenvolvido e expressar as vantagens que este poderá trazer para os agentes contratantes, em especial para o agente produtor, no domínio de contratação bilateral em mercados liberalizados de energia eléctrica.

6.1 Gestão Dinâmica de Preços e Volumes

Os casos práticos apresentados na presente dissertação envolvem a negociação de um contrato bilateral de energia eléctrica onde, com recurso ao protocolo de ofertas alternadas, os agentes contratantes procuram estabelecer um acordo que esteja alinhado com os seus respectivos interesses, mediante a utilização do novo modelo de contratação, com gestão dinâmica de preços e volumes.

Importa destacar que o estudo do caso prático com três cenários distintos realizado no âmbito da presente dissertação surge fundamentalmente no sentido de estabelecer um comparativo entre as dinâmicas de negociação referentes ao contrato desenvolvido por Correia [4], o novo modelo de gestão dinâmica de preços e volumes e o mercado em bolsa, permitindo também extrair um conjunto de conclusões a outros cenários deste modelo e relativamente ao desempenho económico do novo modelo contratual.

A referência para o desenvolvimento deste novo modelo passa por ajudar a tomada de decisão dos agentes contratantes tornando-a mais eficaz no objectivo pretendido, na medida em que permite definir qual a melhor estratégia a adoptar numa negociação de contratos bilaterais e o intervalo de volumes (prioritário), em que as partes envolvidas no processo de negociação procuram firmar um acordo. Em rigor, os cenários de negociação construídos remetem-se para dois agentes contratantes, um produtor eólico e um consumidor final (entidade referência no sector) que negociam uma tarifa referente a três, quatro ou cinco períodos definidos antecipadamente pelo o consumidor final (ver secção 5.3.1), para um período de vigência contratual de um ano.

Diga-se de antemão que os preços de mercado e de desvios são referentes ao ano de 2009 e retirados da plataforma da [REN](#). Estes preços foram definidos de acordo com o preço dos períodos tarifários correspondentes ao intervalo.

6.2 Caracterização de Agentes

Conforme tem vindo a ser referenciado ao longo do presente documento, as fontes de energia renovável, neste caso eólica, devido a sua intermitência, não garantem ao produtor um comportamento uniforme, deixando-o receptivo face aos preços praticados no mercado. Ainda assim, por um acordo bilateral poderá fazer juz ao objectivo que pretende, escoando a energia a preços competitivos. No caso do retalhista, a sua posição é de minimizar os gastos, portanto o acordo bilateral poderá ser benéfico face aos preços mais altos no mercado.

6.2.1 Agente Produtor de Energia Eólica (*GenCos*)

Considerações Gerais:

- Potência total instalada de 250 MW gerada pelo parque eólico (Portugal Continental);
- Custos associados a financiamento e operação e manutenção considerados nulos para o caso de estudo;
- Agente inicia a sua negociação com preços semelhantes aos preços praticados no mercado em bolsa;
- Agente produtor com risco associado neutro (sem risco);
- Agente tem uma estratégia de compromisso, com concessões moderadas;

De acordo com o modelo apresentado no capítulo anterior, os volumes de energia para um número de intervalos três, quatro ou cinco, foram definidos pelo consumidor final dado que este assume o risco, considerando o perfil histórico de produção e as curvas monótonas de potências do produtor eólico real.

De seguida, são apresentados os preços limite do produtor para a negociação.

Tabela 6.1: Preços limite mínimo para o produtor (N=3).

Intervalos	$P_{pe_{MIN}}$ (Eur / MWh)
1	24,31
2	30,72
3	34,86

Tabela 6.2: Preços limite mínimo para o produtor (N=4).

Intervalos	$P_{pe_{MIN}}$ (Eur / MWh)
1	23,68
2	28,75
3	31,66
4	36,12

Tabela 6.3: Preços limite mínimo para o produtor (N=5).

Intervalos	$P_{pe_{MIN}}$ (Eur / MWh)
1	23,72
2	28,38
3	30,76
4	32,26
5	36,61

6.2.2 Agente Retalhista de Energia Eólica (*Retailer*)

Considerações Gerais:

- Gera a curva de potência do produtor, através do espectro de potência do produtor e define os volumes;
- Assume um prémio de risco de 20%;
- Agente tem como preço limite máximo os valores praticos no mercado em bolsa;
- Os preços utilizados para o cálculo da 5.3.2 são referentes ao ano de 2009 assumindo valores de ofertas de uma entidade de renome do sector;
- Agente tem uma estratégia de compromisso, diga-se de baixa concessão do preço;

Volumes de Energia:¹

Tabela 6.4: Volume de intervalos para N=3

V_3^1 (MWh)	V_3^2 (MWh)	V_3^3 (MWh)	V_3^4 (MWh)
14,4	33,8	106,2	195

Tabela 6.5: Volume de intervalos para N=4

V_4^1 (MWh)	V_4^2 (MWh)	V_4^3 (MWh)	V_4^4 (MWh)	V_4^5 (MWh)
14,4	35,8	81,3	131,2	195

Tabela 6.6: Volume de intervalos para N=5

V_5^1 (MWh)	V_5^2 (MWh)	V_5^3 (MWh)	V_5^4 (MWh)	V_5^5 (MWh)	V_5^6 (MWh)
14,4	55,1	96,8	131,5	169,6	195

Preço Máximo Limite do Retalhista:

Tabela 6.7: Preços limite máximo para o retalhista (N=3).

Intervalos	P_{rMAX} (Eur / MWh)
1	29,11
2	37,32
3	41,46

Os volumes de energia tem como base a metodologia apresentada no capítulo anterior. O retalhista para firmar um acordo deste tipo de contrato terá de minimamente vantajoso para o mesmo, ou seja, o preço da energia tem de ser inferior ao preço de mercado. Assim é sempre uma opção economicamente vantajosa e teoricamente com a mesma qualidade de energia da energia transacionada em mercado.

¹ V_n^i - (n) indica o intervalo, enquanto que (i) indica a posição da curva (visão crescente).

Tabela 6.8: Preços limite máximo para o retalhsita (N=4).

Intervalos	$P_{r_{MAX}}$ (Eur / MWh)
1	28,43
2	34,02
3	38,37
4	43,39

Tabela 6.9: Preços limite máximo para o retalhista (N=5).

Intervalos	$P_{r_{MAX}}$ (Eur / MWh)
1	28,46
2	33,41
3	37,04
4	39,52
5	44,17

6.3 Caracterização do Caso Prático

Os casos práticos foram desenvolvidos no sentido de investigar o comportamento do modelo de negociação e estabelecer um comparativo entre o mercado em bolsa e um acordo bilateral de volume variável com tarifa única. Os cenários construídos remetem para a celebração de um contrato com gestão dinâmica de preços e volumes para um número de intervalos específicos, sejam eles, três, quatro ou cinco, cujo período de vigência contratual é de um ano. É importante referir que os contratos bilaterais foram formados com base do respectivo ano dos dados (seria interessante ter dados de 2008 para prever o que poderia acontecer em 2009).

6.3.1 Cenário I: Mercado em Bolsa

Este cenário remete-se a duas situações completamente diferentes. No ponto de vista do produtor, este poderá licitar em bolsa e garantir um lucro superior ao do contrato bilateral, no entanto, caso seja penalizado poderá não ser compensatório, já o consumidor, os seus gastos serão superiores caso licitar em bolsa. Os valores negociados caso licitem em bolsa são mencionados na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Preços licitados no mercado em bolsa por produtor e retalhista.

Mercado em Bolsa		
Produtor Eólico		Retalhista
Preço Ideal (Eur/MWh)	Preço Real (Eur/MWh)	Preço Negociado (Eur/MWh)
35,99	30,20	36,86

Os valores *supra* citados, serão tidos em consideração na discussão de resultados. De notar, que durante as negociações bilaterais, os valores da negociação ultrapassarem o

preço real (produtor) e o preço negociado (retalhista), o agente abandona a negociação.

6.3.2 Cenário II: Negociação Bilateral de Volume Variável com tarifa Única

Este cenário foi criado para fazer uma análise comparativa com os valores da secção seguinte. Com efeito, a comparação será com intuito de validar ou não, se o acordo bilateral com gestão dinâmica de preço e volume (três, quatro ou cinco intervalos), será mais benéfico para ambas as partes do que um acordo bilateral com um único intervalo (totalidade do espectro).

Considerações Gerais:

- Negociação bilateral de volume variável com tarifa única;
- Período de vigência do contrato é de 1 ano;
- Consumidor assume prémio de risco 20% (produtor com risco neutro);
- Os preços limites nesta negociação são 30,20 €/MWh e 36,86 €/MWh, para o produtor e retalhista respectivamente.

Os agentes contratantes mantiveram sempre a mesma estratégia (ver 6.2.1 e 6.2.2) ao longo da negociação e foi concluída com um acordo entre as partes, obtendo-se os resultados apresentados na tabela 6.11.

Tabela 6.11: Preço de acordo na negociação bilateral de volume variável com tarifa única.

Negociação Bilateral com Preço Único
Preço de Acordo (Eur/MWh)
31,78

6.3.3 Cenário III: Negociação Bilateral com Dinâmica de Preços e Volumes

O foco da presente dissertação surge nesta secção com intuito de avaliar os níveis de compromisso associado ao escalonamento do espectro de potência em intervalos.

Considerações Gerais:

- Negociação com gestão dinâmica de preço e volume;
- Número de intervalos de volume $N=3,4,5$;
- Retalhista assume prémio de risco de 20% (produtor com risco neutro);

- Os preços limites nesta negociação são os valores mencionados nas secções 6.2.1 e 6.2.2, **Agente Produtor** - valores limite nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 e **Agente Retalhista** - valores limite nas tabelas 6.7, 6.8 e 6.9 para os intervalos respectivos;

1ª Hipótese - Número de Intervalos: 3

Tabela 6.12: Preços acordados para N=3.

Negociação Bilateral com N=5	
Intervalos	Preço de Acordo (Eur/MWh)
1	25,34
2	32,22
3	36,49

2ª Hipótese - Número de Intervalos: 4

Tabela 6.13: Preços acordados para N=4.

Negociação Bilateral com N=4	
Intervalos	Preço de Acordo (Eur/MWh)
1	24,72
2	29,77
3	32,15
4	40,18

3ª Hipótese - Número de Intervalos: 5

Tabela 6.14: Preços acordados para N=5.

Negociação Bilateral com N=5	
Intervalos	Preço de Acordo (Eur/MWh)
1	24,52
2	29,42
3	32,03
4	34,31
5	38,61

Após as simulações, extraíram-se os preços acordados tendo em consideração todos os períodos negociados para os três cenários. Para uma análise pormenorizada, o custo do contrato é um valor significativo a ter em conta, uma vez que, dependendo dos ganhos ou perdas, numa outra ocasião os agentes contratantes poderão optar por uma nova estratégia ou a não celebração de um contrato bilateral. Assim é definido qual o valor que o retalhista teria de pagar ao produtor pelos volumes de energias definidos nos períodos contratuais e qual o ganho que tem o produtor face aos desvios associados. Este custo é calculado pela seguinte expressão geral:

$$C_{contrato} = \sum_{n=3}^5 \{P_n \cdot V_n\} \quad (6.3.1)$$

em que:

- $C_{contrato}$ o custo do contrato bilateral;
- P_n é preço estabelecido em contrato no período n ;
- V_n é o volume estabelecido em contrato no período n .

Tabela 6.15: Comparativo dos preços acordados vs os preços praticados em bolsa

Número de Intervalos	Remuneração Média (Eur/MWh) (Produtor)	Custo Médio (Eur/MWh) (Retalhista)	Remuneração Média de Mercado (Bolsa) (Eur/MWh) (Produtor)	Custo Médio (Eur/MWh) (Retalhista)	Variação Produtor (%)	Variação Retalhista (%)
N=1	31,74	36,69	30,20	36,86	+5,09	-0,47
N=3	31,26	36,64			+3,51	-0,61
N=4	31,49	36,66			+4,27	-0,55
N=5	31,57	36,68			+4,53	-0,49

Os valores apresentados na tabela 6.15 permite compreender as vantagens económicas que este formato de contratação poderá trazer para os seus utilizadores.

6.4 Análise de Resultados

Os resultados obtidos permitem extrair um conjunto de conclusões interessantes acerca da dinâmica de negociação com recurso ao novo modelo de contratação. No entanto, importa reforçar que o foco de estudo na presente dissertação pretende, sobretudo, revelar o sentido aplicacional do modelo desenvolvido no âmbito da presente dissertação.

É possível concluir através dos resultados obtidos do acordo mediante as estratégias utilizadas pelos agentes contratantes (ter sucesso ou não) que, os preços estabelecidos no contrato bilateral são ligeiramente mais baixos do que os preços do mercado em bolsa. Desta forma, como tem sido referenciado ao longo da presente dissertação, tanto o produtor como o retalhista têm um ligeiro proveito firmando um acordo bilateral.

Analisando a tabela 6.15, após o final da negociação, o produtor eólico tem um ganho entre 3,5% e 5,1% (1,46 €/MWh em média), do mesmo modo, o consumidor final tem um ligeiro ganho (0,26 €/MWh em média), face ao mercado em bolsa. Embora não sejam valores de grande relevo, no término do contrato, ambos os agentes podem maximizar o seu lucro (caso do produtor) ou diminuir a sua despesa (caso do consumidor) como é possível verificar nas figuras 6.1 e 6.2 respectivamente.

O produtor garante a venda total da energia produzida a um preço competitivo face ao mercado em bolsa (retalhista assume toda a potência gerada), evitando o incumprimento do programa inicialmente estabelecido (obedecendo um desvio) e o retalhista garante a compra da totalidade da energia a um preço tendencialmente mais baixo do que em mercado, ficando desta forma protegido da volatilidade de preços que, pelas mais diversas razões, possam ocorrer em mercado bolsista.

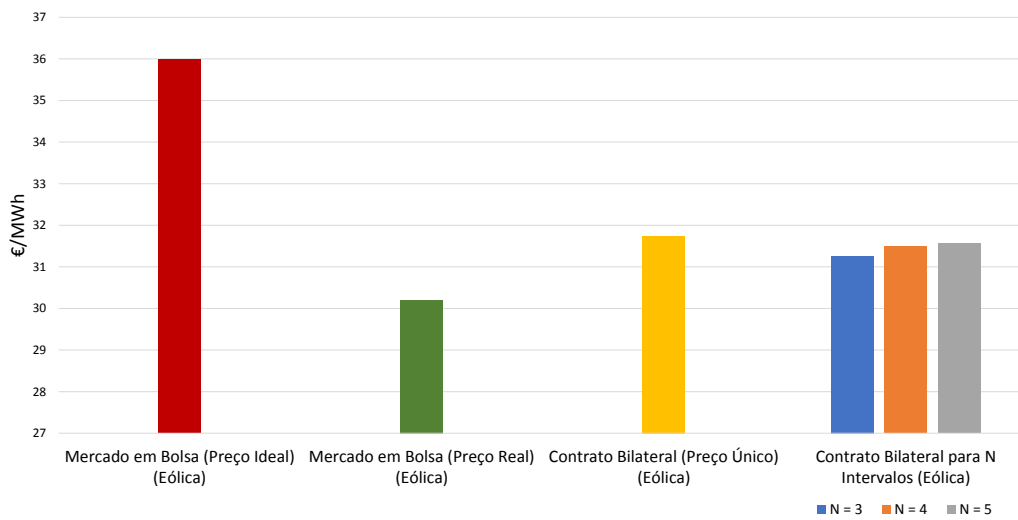


Figura 6.1: Comparação entre valores de mercado e o valor do acordo bilateral (vista do produtor).

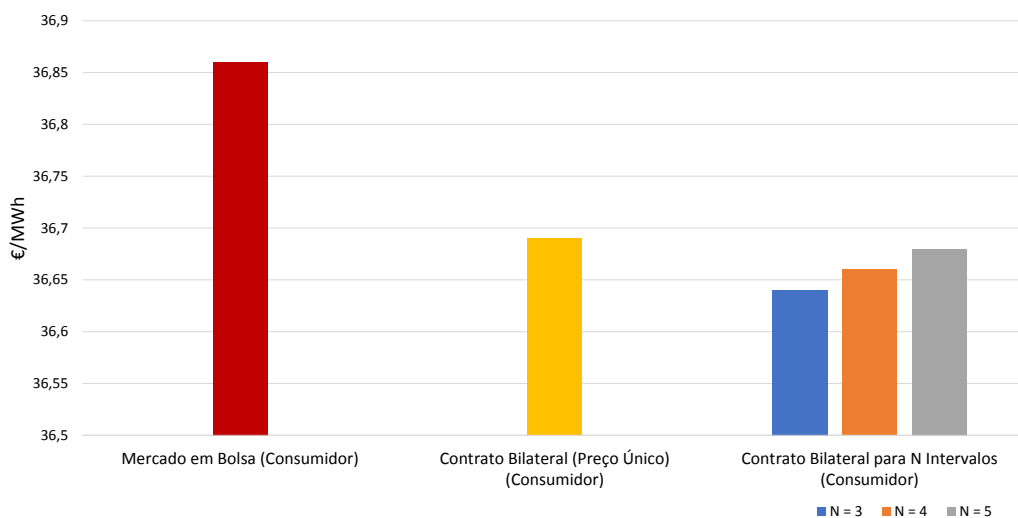


Figura 6.2: Comparação entre valores de mercado e o valor do acordo bilateral em módulo da variação (vista do retalhista).

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

7.1 Síntese de Resultados

A consciencialização para o processo de liberalização do setor elétrico desencadeou a decomposição de estruturas verticalmente integradas originando o desenvolvimento dos mercados de energia elétrica. O fim do monopólio natural existente no setor e a abertura à concorrência provocou um aumento significativo de novas entidades participantes no mercado, tornando este mais competitivo e transparente face aos preços praticados e com benefícios no âmbito social, uma vez que, existiu uma melhoria notória nos serviços de comercialização e fornecimento de energia eléctrica.

Tendo em conta que a comercialização de energia após a liberalização poderá ser executada através de licitações em bolsa ou através da celebração de contratos bilaterais físicos, a flutuação do preço de energia registada em bolsa suscitou um maior interesse de estabelecerem relações contratuais através de acordos bilaterais por forma a reduzirem alguma exposição relativamente a certos riscos financeiros.

De notar que a consciencialização para a liberalização desencadeou o aproveitamento da tecnologia de geração de energia eléctrica renovável. A variabilidade que algumas das fontes apresentam influencia directamente os preços do mercado em bolsa. No presente, e em concreto no (OS), os produtores de renováveis regem-se e são abrangidos pelos os estatutos de PRE.

No caso da presente dissertação poderá dar aso, a que os agentes produtores de energia eólica, que se deparam com problemas intrínsecos a este tipo de fonte de energia, como a intermitência, a imprevisibilidade do comportamento do recurso e a possibilidade das

tarifas subsidiárias acabarem, uma vez que estas diminuem com o amadurecimento das tecnologias e com a diminuição dos custos de implementação, vejam como opção bastante atractiva a celebração de contratos bilaterais em vez da actual situação em bolsa.

Torna-se então pertinente o estudo de soluções algorítmicas por forma a possibilitar uma negociação dinâmica e flexível entre os agentes produtores, retalhistas ou consumidores finais, de maneira a que estes assegurem mutuamente a protecção ao risco inerente. Deste modo, implica que os produtores estejam munidos de métodos de previsão e de uma ferramenta de simulação de mercado para estudar as estratégias a usar.

O objetivo principal desta dissertação centrou-se no estudo aprofundado do formato de gestão dinâmica de preço e volume de forma a analisar o desempenho inerente a este modelo e ao modelo [4] e os benefícios quando comparados com outros cenários na negociação de energia.

Pese embora, os valores obtidos não serem os esperados, ambos os agentes contratantes evitam a volatilidade de preços de mercado, o agente produtor apresenta preços competitivos para energia produzida satisfazendo a procura do retalhista (procura preços abaixo dos valores de mercado), embora este, tenha de adquirir toda a energia produzida pelo o parque eólico.

Por fim, o agente produtor sabe de antemão que poderia lucrar mais caso licitasse em bolsa, já o retalhista, assume 2 tipos de risco, o do volume negociado e o do preço praticado (prémio de risco de 20%). Assim, pode-se assegurar que ambos os agentes beneficiaram com o acordo firmado, o agente produtor lucrou 1,46€/MWh em média, enquanto que a despesa do consumidor foi menor 0,26€/MWh em média, face ao mercado em bolsa.

7.2 Trabalho Futuro

No sentido de melhorar e aperfeiçoar o modelo de contratação elaborado na presente dissertação, bem como o simulador desenvolvido no âmbito do [MAN-REM](#), sugerem-se algumas hipóteses de desenvolvimento num futuro próximo. As sugestões para trabalho futuro são:

- Interface Gráfica ([MAN-REM](#)) - numa fase inicial, implementação de uma janela de informação dos intervalos de volume Produtor Eólico (possível ajuste no Protocolo de Ofertas Alternadas), podendo desta forma oferecer ao retalhista/consumidor final informação privilegiada;
- Modelo Matemático - I - aperfeiçoamento do modelo, para N intervalos, procurando compreender qual o contributo do agente produtor para o funcionamento do mercado [MIBEL](#) e qual a recompensa que poderá obter mediante o acordo bilateral; II -

para número de intervalos de N , qual seria o impacto que o retalhista ou consumidor final teriam no seu lucro ou despesa fazendo um acordo bilateral;

- Estratégia de Negociação Bilateral - utilizar outro tipo de estratégia de negociação entre os agentes contratantes para um número de intervalos específico;
- Comparação deste modelo de gestão dinâmica de preço e volume com outro tipo de contrato bilateral (*forward*, de futuros, opções ou *swaps*).

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Dorsman, W. Westerman, M. Karan e Ö. Arslan. *Financial Aspects in Energy: A European Perspective*. SpringerLink : Bücher. Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN: 9783642197093. URL: <https://books.google.pt/books?id=RjrkPHq9XgQC> (acedido em 09/02/2018).
- [2] Diogo e Vidigal. “Comercialização de Energia em Mercados em Bolsa : Simulador Multi-agente e Análise do Impacto da Geração Variável nos Preços Diários”. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [3] D. Vidigal, F. Lopes, A. G. Pronto e J. Santana. “Agent-Based Simulation of Wholesale Energy Markets: A Case Study on Renewable Generation.” Em: *DEXA Workshops*. Ed. por M. Spies, R. R. Wagner e A. M. Tjoa. IEEE, 2015, pp. 81–85. ISBN: 978-1-4673-7582-5. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/dexaw/dexaw2015.html#VidigalLPS15> (acedido em 25/01/2017).
- [4] C. H. N. P. Correia. “Mercado Multi-Agente de Eletricidade : Comercialização de Energia Renovável em Bolsa e por Contratos Bilaterais com Gestão Dinâmica de Preço e Volume”. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2016.
- [5] F. Lopes, N. Mamede, A. Q. Novais e H. Coelho. “A Negotiation Model for Autonomous Computational Agents: Formal Description and Empirical Evaluation”. Em: (2002), pp. 195–212. ISSN: 1064-1246. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1313030.1313032> (acedido em 19/04/2018).
- [6] F. Lopes, A. Q. Novais, N. Mamede e H. Coelho. “Negotiation Among Autonomous Agents: Experimental Evaluation of Integrative Strategies”. Em: *Portuguese conference on artificial intelligence*. 2005, pp. 280–288. DOI: [10.1109/EPIA.2005.341231](https://doi.org/10.1109/EPIA.2005.341231).
- [7] F. Lopes e H. Coelho. “Strategic and Tactical Behaviour in Automated Negotiation”. Em: (2010), pp. 35–63.
- [8] F. Lopes e H. Coelho. “Concession Strategies for Negotiating Bilateral Contracts in Multi-Agent Electricity Markets”. Em: (2012), pp. 321–325.
- [9] F. Lopes, T. Rodrigues e J. Sousa. “Negotiating Bilateral Contracts in Multi-Agent Electricity Markets: A Case Study”. Em: (2012).

- [10] F. Lopes, C. Ilco e J. Sousa. "Bilateral negotiation in energy markets: Strategies for promoting demand response". Em: *10th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. 2013, pp. 1–6. DOI: [10.1109/EEM.2013.6607347](https://doi.org/10.1109/EEM.2013.6607347).
- [11] F. Lopes e H. Coelho. "Electricity Markets and Intelligent Agents. Part II: Agent Architectures and Capabilities". Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation and Emerging Designs*. Ed. por F. Lopes e H. Coelho. Vol. 114. Studies in Systems, Decision and Control. Springer International Publishing, 2018, pp. 49–77.
- [12] F. Lopes. "MATREM: An Agent-based Simulation Tool for Electricity Markets". Em: *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation and Emerging Designs*. Ed. por F. Lopes e H. Coelho. Vol. 114. Studies in Systems, Decision and Control. Springer International Publishing, 2018, pp. 189–225.
- [13] A. Saad. "Contratos Bilaterais em Mercados de Energia Eléctrica : O Contrato Forward com Contingências". Tese de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.
- [14] L. B. Cruz. "A liberalização do sector da energia, o MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidade) e o OMIP (Operador do Mercado Ibérico de Energia - Pólo português)". 2008. URL: <http://ftp.infoeuropa.euroid.pt/database/000040001-000041000/000040873.pdf> (acedido em 16/02/2017).
- [15] J. Saraiva, J. João Tomé Saraiva, J. da Silva e M. da Silva Ponce de Leão. *Mercados de Electricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes*. FEUP Edições. ISBN: 9789727520534. URL: <https://books.google.pt/books?id=uQ-XeOYIRLQC>.
- [16] ERSE. "Descrição do Funcionamento da ERSE". 2015. URL: <http://www.erse.pt/pt/aerse/Paginas/default.aspx> (acedido em 18/02/2017).
- [17] M. Rothes. "O Papel da Regulação na Liberalização do Sector Eléctrico Português". Tese de mestrado. Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 2012.
- [18] M Shahidehpour, H. Yamin e Z. Li. "Market Operations in Electric Power Systems". Em: *Journal of Scheduling - SCHEDULING* (jan. de 2002). DOI: [10.1002/047122412X.ch4](https://doi.org/10.1002/047122412X.ch4).
- [19] F. D. S. Sousa. "Comercialização Bilateral de Energia em Mercados Liberalizados - Contratos por Diferenças e Gestão de Risco". Tese de mestrado. IST - Instituto Superior Técnico, 2015.
- [20] J. Paiva. *Redes de Energia Eléctrica - Uma Análise Sistémica*. 2ª Edição. Ed. por IST. IST PRESS. IST PRESS, 2007.
- [21] S. E. Khatib e F. D. Galiana. "Negotiating Bilateral Contracts in Electricity Markets". Em: *IEEE Transactions on Power Systems* (2007), pp. 553–562. ISSN: 0885-8950. DOI: [10.1109/TPWRS.2007.894858](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2007.894858).

-
- [22] J. P. Peixoto. *Futuros e Opções*. McGraw-Hill, 1995.
- [23] J. E. Antunes. *Os Instrumentos Financeiros*. Almedina, 2009.
- [24] OMICLEAR. "Descrição do MIBEL". 2015. URL: <http://www.omiclear.pt/OMIClear/MIBEL/tabid/140/language/pt-PT/Default.aspx>. (acedido em 28/02/2017).
- [25] ERSE. "Descrição do Mercado Grossista de Electricidade". URL: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadodiario/Paginas/default.aspx> (acedido em 10/03/2017).
- [26] MIBEL. "Informação Mensal do MIBEL". URL: <http://mibel.com/?mod=documentos&mem=listado&relmenu=23&relcategoria=151> (acedido em 05/09/2018).
- [27] F. Lopes, M. Wooldridge e A. Novais. "Negotiation among autonomous computational agents: Principles, analysis and challenges". Em: (2008), pp. 1–44.
- [28] C. Ilco. "Negociação Bilateral em Mercados de Energia Eléctrica Multi-Agente com Participação Activa dos Consumidores". Tese de mestrado. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- [29] P. Maes. *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*. 1st. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1991. ISBN: 0262631350.
- [30] M. Wooldridge e N. R. Jennings. "Intelligent agents: theory and practice". Em: *The Knowledge Engineering Review* (1995), 115–152. DOI: [10.1017/S0269888900008122](https://doi.org/10.1017/S0269888900008122).
- [31] H. S. Nwana. "Software agents: An overview". Em: (set. de 1996).
- [32] Z. Vale, T. Pinto, I. Praca e H. Morais. "MASCEM: Electricity Markets Simulation with Strategic Agents". Em: *IEEE Intelligent Systems* (2011), pp. 9–17. ISSN: 1541-1672. DOI: [10.1109/MIS.2011.3](https://doi.org/10.1109/MIS.2011.3).
- [33] R. Unland, J. Bajo, M. Escalona, S. Giroux, P Hoffa-Dąbrowska, V Julián, P. Novais, N. Sánchez-Pi e R. Silveira. *Highlights of Practical Applications of Scalable Multi-Agent Systems: The PAAMS Collection International Workshops of PAAMS*. 2016. ISBN: 978-3-319-39386-5.
- [34] Z. Zhou, V. W. K. Chan e J. H. Chow. "Agent-based simulation of electricity markets: A survey of tools". Em: (2007), pp. 305–342.
- [35] F. Lopes e H. Coelho. *Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs*. Mar. de 2018. ISBN: 978-3-319-74261-8.
- [36] REN21. "Renewables 2016 - Global Report". URL: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf (acedido em 23/07/2018).

- [38] IRENA. "REmap 2030 - A Renewable Energy Roadmap". URL: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_REmap_China_report_2014.pdf (acedido em 18/08/2018).
- [39] APREN. MARÇO 100 eletricidade assegurado por fontes renováveis é record de enorme relevância. URL: <http://apren.pt/contents/communicationpressrelease/comunicado-apren-zero-marco-2018-v2-002.pdf> (acedido em 16/09/2018).
- [40] I. González-Aparicio e A. Zucker. "Impact of wind power uncertainty forecasting on the market integration of wind energy in Spain". Em: *Applied Energy* 159 (2015), pp. 334–349. ISSN: 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.104>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915010405> (acedido em 25/09/2017).
- [41] P. Faratin, C. Sierra e N. R. Jennings. "Negotiation decision functions for autonomous agents". Em: *Robotics and Autonomous Systems* 24.3 (1998). Multi-Agent Rationality, pp. 159–182. ISSN: 0921-8890. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(98\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(98)00029-3). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889098000293> (acedido em 20/08/2018).